

## 明 細 書

### 制御装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、複数の制御入力により制御対象の出力をフィードバック制御する制御装置に関する。

### 背景技術

[0002] 従来、内燃機関のアイドル運転中に機関回転数をフィードバック制御する制御装置として、特許文献1に記載されたものが知られている。この内燃機関は、スロットル弁をバイパスするバイパス通路と、このバイパス通路を開閉するアイドル調整弁と、点火コイルなどを備えている。この制御装置では、以下のように、アイドル運転中、機関回転数が目標回転数に収束するように、吸入空気量および点火時期がいずれも制御される。

[0003] 具体的には、まず、アイドル運転中、目標回転数、基本吸入空気量および基本点火時期をそれぞれ、運転状態に応じて設定する。次いで、実際の機関回転数と目標回転数との回転数偏差を算出し、この回転数偏差に基づいて、吸入空気量および点火時期のフィードバック補正量をそれぞれ算出する。そして、アイドル調整弁への制御入力を、基本吸入空気量と吸入空気量のフィードバック補正量との和に応じた値として算出し、点火プラグへの制御入力を、基本点火時期と点火時期のフィードバック補正量との和に応じた値として算出する。さらに、これらの制御入力に応じた駆動信号でアイドル調整弁および点火プラグをそれぞれ駆動することにより、吸入空気量および点火時期がいずれも制御され、それにより、機関回転数が目標回転数に収束するようにフィードバック制御される。

[0004] 特許文献1：特開平5－222997号公報

[0005] 上記従来の制御装置によれば、2つの制御入力による2つの制御処理により、機関回転数をフィードバック制御しているものの、これらの制御処理の特性が互いに異なるため、2つの制御処理が互い干渉し合うおそれがある。すなわち、点火時期を制御した場合、その応答遅れが小さく、無駄時間が小さいので、機関回転数を目標回転

数に迅速に収束させることができる。また、制御の分解能が高い(最小の制御入力に対する機関回転数の変化度合いが小さい)ので、良好な制御精度を確保できる反面、内燃機関の運転状態が悪化するのを回避する観点から、点火時期の変更幅が規制されてしまう。例えば、アイドル運転中、運転者による空ぶかしなどにより、目標回転数が一時的に急上昇したときなどには、それに応じて点火時期を制御すると、点火時期のリタード量が過大になり、燃焼効率が低下してしまうおそれがあるので、これを回避する観点から、点火時期の変更幅が規制される。

[0006] 一方、吸入空気量を制御した場合、制御の分解能が点火時期制御処理と比べて低く、目標回転数の大幅な変化に対しても対応できる反面、点火時期制御処理と比べて、機関回転数をきめ細かく制御することができず、制御精度が低くなってしまう。これに加えて、点火時期のフィードバック制御処理と比べて、応答遅れが大きく、無駄時間が大きいので、機関回転数の目標回転数への収束性が悪いという特性がある。

[0007] 上記従来の制御装置では、以上のような、2つの制御処理の特性の差異に起因して、2つの制御処理が互いに干渉し合うことで、制御の安定性および制御精度がいずれも低下するおそれがある。

[0008] これに加えて、PI制御などの一般的なフィードバック制御手法では、上述したような、目標回転数の急激な変化が発生した場合、機関回転数の目標回転数へのオーバーシュートまたはアンダーシュートが発生しやすく、振動的な挙動を生じやすいとともに、それを回避しようとする、機関回転数の目標回転数への収束速度が遅くなってしまう。すなわち、機関回転数の目標回転数に対する収束挙動および収束速度をいずれも良好な状態に確保するのが困難であり、その結果、制御の安定性および制御精度がいずれもより一層、低下してしまう。

[0009] 本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、複数の制御入力により制御対象の出力をフィードバック制御する場合において、制御の安定性および制御精度をいずれも向上させることができる制御装置を提供することを目的とする。

#### 発明の開示

[0010] 上記目的を達成するために、本発明の第1の態様においては、複数の制御入力に

より制御対象の出力を制御する制御装置であって、制御対象の状態に応じて、制御対象の出力の目標となる目標値を算出する目標値算出手段と、算出された目標値に所定のフィルタリング処理を施すことにより、目標値に対する制御対象の出力の追従応答性を設定するための1つのフィルタリング目標値を算出するフィルタリング目標値算出手段と、複数の制御入力をそれぞれ、制御対象の出力が算出された1つのフィルタリング目標値に収束するように、所定の複数のフィードバック制御アルゴリズムに基づいて算出する制御入力算出手段と、を備えることを特徴とする制御装置が提供される。

- [0011] この制御装置の構成によれば、制御対象の出力の目標となる目標値が、制御対象の状態に応じて算出され、目標値に対する制御対象の出力の追従応答性を設定するための1つのフィルタリング目標値が、算出された目標値に所定のフィルタリング処理を施すことにより算出され、複数の制御入力がそれぞれ、制御対象の出力が算出された1つのフィルタリング目標値に収束するように、所定の複数のフィードバック制御アルゴリズムに基づいて算出される。このように、目標値フィルタ型2自由度制御アルゴリズムに基づいて、複数の制御入力が算出されるので、所定のフィルタリング処理の内容と、所定の複数のフィードバック制御処理の内容とを互いに独立して設定できることで、目標値に対する制御対象の出力の追従応答性、および外乱などによって生じる目標値と制御対象の出力との偏差の収束挙動を別個に設定できる。すなわち、目標値に施す所定のフィルタリング処理を適切に設定することにより、目標値に対する制御対象の出力の良好な追従応答性を確保できると同時に、所定の複数のフィードバック制御処理の内容を適切に設定することにより、制御対象の出力を、オーバーシュートおよび振動的な挙動を生じることなく、目標値に収束させることができ、制御対象の出力の目標値への収束挙動を安定させることができる。これに加えて、複数の制御入力の各々が、1つのフィルタリング目標値を共用しながら算出されるので、複数の制御入力による複数のフィードバック制御処理が互いに干渉し合うのを回避することができる。以上により、制御の安定性および制御精度をいずれも向上させることができる。

- [0012] 好ましくは、フィルタリング目標値算出手段は、1つのフィルタリング目標値を、目標

値の変化度合いが大きいほど、目標値に対する制御対象の出力の追従応答性がより高くなるように算出することを特徴とする(図10, 34)。

- [0013] この好ましい態様の構成によれば、1つのフィルタリング目標値が、目標値の変化度合いが大きいほど、目標値に対する制御対象の出力の追従応答性がより高くなるように算出されるので、制御対象の状態変化が大きいことで、目標値が大きく変化する場合でも、制御対象の出力を、そのような目標値の大きな変化に精度よく追従させることができる。その結果、制御精度をさらに向上させることができる。
- [0014] 好ましくは、所定の複数のフィードバック制御アルゴリズムはそれぞれ、所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムで構成され、制御入力算出手段は、複数の制御入力を、所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムにおいて、1つのフィルタリング目標値に対する制御対象の出力の収束挙動および収束速度を規定する1つの線形関数を共用しながら、算出する。
- [0015] この好ましい態様の構成によれば、複数の制御入力が、所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムに基づき、所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムにおいて、1つのフィルタリング目標値に対する制御対象の出力の収束挙動および収束速度を規定する1つの線形関数を共用しながら、算出されるので、制御対象の出力を、応答指定型制御アルゴリズムの特徴である、1つの線形関数により規定された収束挙動および収束速度で、1つのフィルタリング目標値に収束させることができ、その結果、制御対象の出力を、そのような収束挙動および収束速度で目標値に収束させることができる。これにより、2自由度制御アルゴリズムにおけるフィードバック制御アルゴリズムとして、PID制御などの一般的なフィードバック制御アルゴリズムを用いる場合と比べて、制御の安定性および制御精度を向上させることができる。これに加えて、複数の制御入力の各々が、上述した1つの線形関数を共用しながら算出されるので、複数の制御入力が、1つのフィルタリング目標値に対する制御対象の出力の収束挙動および収束速度が互いに同じになるように算出されることにより、複数の制御入力による複数の応答指定型制御処理が互いに干渉し合うのを回避しながら、制御対象の出力を制御することができる。以上により、制御の安定性および制御精度をさらに向上させることができる。

- [0016] 上記目的を達成するために、本発明の第2の態様においては、複数の制御入力により制御対象の出力を制御する制御装置であって、制御対象の状態に応じて、制御対象の出力の目標となる目標値を算出する目標値算出手段と、複数の制御入力をそれぞれ、制御対象の出力が算出された目標値に収束するように、所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムに基づき、所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムにおいて、目標値に対する制御対象の出力の収束挙動および収束速度を規定する1つの線形関数を共用しながら、算出する制御入力算出手段と、を備えることを特徴とする制御装置を提供が提供される。
- [0017] この制御装置の構成によれば、制御対象の出力の目標となる目標値が、制御対象の状態に応じて算出され、複数の制御入力がそれぞれ、制御対象の出力が算出された目標値に収束するように、所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムに基づき、所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムにおいて、目標値に対する制御対象の出力の収束挙動および収束速度を規定する1つの線形関数を共用しながら、算出される。これにより、複数の制御入力が、目標値に対する制御対象の出力の収束挙動および収束速度が互いに同じになるように算出されることによって、複数の制御入力による複数の応答指定型制御処理が互いに干渉し合うのを回避しながら、制御対象の出力を制御することができる。その結果、制御の安定性および制御精度をいずれも向上させることができる。
- [0018] 好ましくは、制御入力算出手段は、複数の制御入力の各々の算出に用いるゲインを、1つの線形関数の値に応じて設定する。
- [0019] 一般に、応答指定型制御アルゴリズムでは、目標値に対する制御対象の出力の収束挙動および収束速度を規定する1つの線形関数の値が小さい場合、目標値と制御対象の出力との乖離度合いが小さいことで、制御精度の観点から分解能の高い(最小の制御入力に対する制御対象の出力の変化度合いが小さい)制御を行うことが望ましい。一方、1つの線形関数の値が大きい場合、目標値と制御対象の出力との乖離度合いが大きいことで、応答性の観点から分解能の低い(最小の制御入力に対する制御対象の出力の変化度合いが大きい)制御を行うことが望ましい。これに対して、この好ましい態様の構成によれば、複数の制御入力の各々の算出に用いるゲイ

ンが、1つの線形関数の値に応じて設定されるので、例えば、複数の制御入力による制御の分解能が互いに異なる場合、複数の制御入力の算出において、線形関数の値が小さいときには、制御の分解能が高い方の算出に用いるゲインを、分解能が低い方の制御入力のものよりも大きな値に設定することにより、分解能が高い方の制御の寄与度合いが高くなり、これがメイン側の制御となることで、複数の制御が互いに干渉するのを回避しながら、制御精度を向上させることができる。一方、線形関数の値が大きいたときには、制御の分解能が低い方の算出に用いるゲインを、分解能が高い方の制御入力のものよりも大きな値に設定することにより、分解能が低い方の制御の寄与度合いが高くなり、これがメイン側の制御となることで、複数の制御が互いに干渉するのを回避しながら、制御の応答性を向上させることができる。

[0020] 好ましくは、制御入力算出手段は、複数の制御入力の少なくとも1つを、1つの線形関数の積分値に応じて、1つの線形関数の積分値に忘却処理を施しながら、算出する。

[0021] この好ましい態様の構成によれば、複数の制御入力の少なくとも1つが、1つの線形関数の積分値に応じて、1つの線形関数の積分値に忘却処理を施しながら、算出されるので、1つの線形関数の積分値の増大が回避されることで、少なくとも1つの制御入力の絶対値が増大するのを回避できる。それにより、少なくとも1つの制御入力の絶対値が増大すると、制御対象の稼働効率が低下する場合、そのような稼働効率の低下を回避することができる。

[0022] 好ましくは、制御対象が受ける外乱およびモデル化誤差を補償するための複数の外乱推定値の各々を、各外乱推定値と複数の制御入力の各々と制御対象の出力との関係を定義したモデルに基づく所定の推定アルゴリズムにより、算出する外乱推定値算出手段をさらに備え、所定の推定アルゴリズムでは、1つの線形関数の値に応じて、各外乱推定値の推定ゲインが設定され、制御入力算出手段は、各制御入力を各外乱推定値に応じて算出する。

[0023] この好ましい態様の構成によれば、制御対象が受ける外乱およびモデル化誤差を補償するための複数の外乱推定値の各々が、各外乱推定値と複数の制御入力の各々と制御対象の出力との関係を定義したモデルに基づく所定の推定アルゴリズムに

より、算出されるとともに、各外乱推定値に応じて、各制御入力算出されるので、そのように算出された各制御入力により、制御対象が受ける外乱およびモデル化誤差を適切に補償しながら、制御対象の出力を制御することができる。また、前述したように、応答指定型制御アルゴリズムでは、目標値に対する制御対象の出力の収束挙動および収束速度を規定する1つの線形関数の値が小さい領域では、制御精度の観点から分解能の高い制御を行うことが望ましく、1つの線形関数の値が大きい領域では、応答性の観点から分解能の低い制御を行うことが望ましい。これに対して、所定の推定アルゴリズムでは、各外乱推定値の推定ゲインが、1つの線形関数の値に応じて設定されるので、例えば、複数の制御入力による制御の分解能が互いに異なる場合、複数の制御入力の算出において、線形関数の値が小さいときには、制御の分解能が高い方の算出に用いる外乱推定値の推定ゲインを、分解能が低い方の制御入力のものよりも大きな値に設定することにより、分解能が高い方の制御の寄与度合いが高くなり、これがメイン側の制御となることで、複数の制御が互いに干渉するのを回避しながら、制御精度を向上させることができる。一方、線形関数の値が大きいときには、制御の分解能が低い方の算出に用いる外乱推定値の推定ゲインを、分解能が高い方の制御入力のものよりも大きな値に設定することにより、分解能が低い方の制御の寄与度合いが高くなり、これがメイン側の制御となることで、複数の制御が互いに干渉するのを回避しながら、制御の応答性を向上させることができる。

[0024] 好ましくは、制御対象が受ける外乱およびモデル化誤差を補償するための複数の外乱推定値の各々を、各外乱推定値と複数の制御入力の各々と制御対象の出力との関係を定義したモデルに基づく所定の推定アルゴリズムにより、算出する外乱推定値算出手段をさらに備え、所定の推定アルゴリズムでは、複数の外乱推定値の少なくとも1つに所定の忘却処理が施され、制御入力算出手段は、各制御入力を各外乱推定値に応じて算出する。

[0025] この好ましい態様の構成によれば、制御対象が受ける外乱およびモデル化誤差を補償するための複数の外乱推定値の各々が、各外乱推定値と複数の制御入力の各々と制御対象の出力との関係を定義したモデルに基づく所定の推定アルゴリズムにより、算出されるとともに、各外乱推定値に応じて、各制御入力算出されるので、そ

のように算出された各制御入力により、制御対象が受ける外乱およびモデル化誤差を適切に補償しながら、制御対象の出力を制御することができる。これに加えて、所定の推定アルゴリズムでは、複数の外乱推定値の少なくとも1つに所定の忘却処理が施されるので、少なくとも1つの外乱推定値の増大が回避されることで、少なくとも1つの制御入力の絶対値が増大するのを回避できる。それにより、少なくとも1つの制御入力の絶対値が増大すると、制御対象の稼働効率が低下する場合、そのような稼働効率の低下を回避することができる。

[0026] 好ましくは、制御対象の出力は、内燃機関の回転数であり、複数の制御入力、内燃機関の吸入空気量を制御するための制御入力、および内燃機関の点火時期を制御するための制御入力で構成されている。

[0027] この好ましい態様の構成によれば、内燃機関の吸入空気量および点火時期をそれぞれ制御するための2つの制御入力により、内燃機関の回転数を、オーバーシュートなどを生じることなく、その目標値に適切に収束するようにフィードバック制御することができるとともに、吸入空気量制御および点火時期制御が互いに干渉し合うのを回避することができる。その結果、内燃機関の回転数制御の安定性および制御精度を向上させることができる。

[0028] 好ましくは、制御対象の出力は、内燃機関の吸入空気量であり、複数の制御入力は、内燃機関の過給圧を制御するための制御入力、および内燃機関のEGR量を制御するための制御入力で構成されている。

[0029] この好ましい態様の構成によれば、内燃機関の過給圧およびEGR量をそれぞれ制御するための2つの制御入力により、内燃機関の吸入空気量を、オーバーシュートなどを生じることなく、その目標値に適切に収束するようにフィードバック制御することができるとともに、過給圧制御およびEGR制御が互いに干渉し合うのを回避することができる。その結果、内燃機関の吸入空気量制御の安定性および制御精度を向上させることができる。

#### 図面の簡単な説明

[0030] [図1]図1は、本発明の第1実施形態に係る制御装置が適用された内燃機関の概略構成を示す模式図である。



[図2]図2は、制御装置の概略構成を示すブロック図である。

[図3]図3は、内燃機関の可変式吸気動弁機構および排気動弁機構の概略構成を示す断面図である。

[図4]図4は、可変式吸気動弁機構の可変バルブリフト機構の概略構成を示す断面図である。

[図5](a)リフトアクチュエータの短アームが最大リフト位置にある状態と(b)最小リフト位置にある状態を示す図である。

[図6](a)リフトアクチュエータの短アームが最大リフト位置にある状態と(b)最小リフト位置にある状態を示す図である。

[図7]図7は、可変バルブリフト機構の下リンクが最大リフト位置にあるときの吸気弁のバルブリフト曲線(実線)と、最小リフト位置にあるときのバルブリフト曲線(2点鎖線)をそれぞれ示す図である。

[図8]図8は、アイドル回転数コントローラの概略構成を示すブロック図である。

[図9]図9は、アイドル用基準値の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図10]図10は、目標値フィルタ設定パラメータの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図11]図11は、点火時期コントローラの制御アルゴリズムを示す図である。

[図12]図12は、吸入空気量コントローラの制御アルゴリズムの一部およびモデルを示す図である。

[図13]図13は、点火時期制御用の到達則ゲインおよび適応則ゲインの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図14]図14は、吸入空気量制御用の到達則ゲインおよび適応則ゲインの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図15]図15は、制御領域を説明するための、位相平面および切換直線を示す図である。

[図16]図16は、制御領域を説明するための、内燃機関の回転数および目標回転数の関係を示すタイミングチャートである。

[図17](a)第1実施形態のアイドル回転数制御の制御シミュレーション結果を示すタ

イミングチャートと、(b)～(d)比較例のアイドル回転数制御の制御シミュレーション結果を示すタイミングチャートである。

[図18]図18は、第1実施形態のアイドル回転数制御の制御シミュレーション結果を示すタイミングチャートである。

[図19]図19は、比較例のアイドル回転数制御の制御シミュレーション結果を示すタイミングチャートである。

[図20]図20は、アイドル回転数制御処理を含む点火時期制御処理および吸入空気量制御処理の内容を示すフローチャートである。

[図21]図21は、点火基準値の算出に用いるマップの一例を示す図である。

[図22]図22は、リフト基準値の算出に用いるマップの一例を示す図である。

[図23]図23は、リフト制御入力の算出に用いる制御アルゴリズムを示す図である。

[図24]図24は、点火時期の算出に用いるマップの一例を示す図である。

[図25]図25は、目標バルブリフトの算出に用いるマップの一例を示す図である。

[図26]図26は、本発明の第2実施形態に係る制御装置のアイドル回転数コントローラの概略構成を示すブロック図である。

[図27]図27は、点火時期コントローラの制御アルゴリズムを示す図である。

[図28]図28は、吸入空気量コントローラの制御アルゴリズムの一部およびモデルを示す図である。

[図29]図29は、点火時期制御用の到達則ゲインおよび推定ゲインの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図30]図30は、吸入空気量制御用の到達則ゲインおよび推定ゲインの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図31]図31は、本発明の第3実施形態に係る制御装置およびこれが適用された内燃機関の概略構成を示す模式図である。

[図32]図32は、協調吸入空気量コントローラの概略構成を示すブロック図である。

[図33]図33は、目標吸入空気量の算出に用いるマップの一例を示す図である。

[図34]図34は、目標値フィルタ設定パラメータの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図35]図35は、EGR制御用の到達則ゲインおよび適応則ゲインの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図36]図36は、過給圧制御用の到達則ゲインおよび適応則ゲインの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

[図37]図37は、EGRコントローラの制御アルゴリズムを示す図である。

[図38]図38は、過給圧コントローラの制御アルゴリズムの一部およびモデルを示す図である。

[図39]図39は、EGR基準値の算出に用いるマップの一例を示す図である。

[図40]図40は、過給圧基準値の算出に用いるマップの一例を示す図である。

### 発明を実施するための最良の形態

[0031] 以下、図面を参照しながら、本発明の第1実施形態に係る制御装置について説明する。この制御装置1は、図2に示すように、ECU2を備えており、このECU2は、後述するように、内燃機関(以下「エンジン」という)3の運転状態に応じて、アイドル回転数制御などの制御処理を実行する。

[0032] 図1および図3に示すように、エンジン3は、多数組のシリンダ3aおよびピストン3b(1組のみ図示)を有する直列多気筒ガソリンエンジンであり、図示しない車両に搭載されている。エンジン3は、シリンダ3aごとに設けられ、吸気ポートおよび排気ポートをそれぞれ開閉する吸気弁4および排気弁7と、吸気弁4駆動用の吸気カムシャフト5および吸気カム6と、吸気弁4を開閉駆動する可変式吸気動弁機構40と、排気弁7駆動用の排気カムシャフト8および排気カム9と、排気弁7を開閉駆動する排気動弁機構30などを備えている。

[0033] 吸気弁4は、そのステム4aがガイド4bに摺動自在に嵌合しており、このガイド4bは、シリンダヘッド3cに固定されている。さらに、吸気弁4は、図4に示すように、上下のスプリングシート4c、4dと、これらの間に設けられたバルブスプリング4eとを備えており、このバルブスプリング4eにより、閉弁方向に付勢されている。

[0034] また、吸気カムシャフト5および排気カムシャフト8はそれぞれ、図示しないホルダを介して、シリンダヘッド3cに回動自在に取り付けられている。この吸気カムシャフト5は、その一端部に吸気スプロケット(図示せず)が同軸に固定されており、この吸気スプ

ロケットおよびタイミングベルト(図示せず)を介して、クランクシャフト3dに連結されている。これにより、吸気カムシャフト5は、クランクシャフト3dが2回転するごとに1回転する。また、吸気カム6は、吸気カムシャフト5上にこれと一体に回転するようにシリンダ3aごとに設けられている。

[0035] さらに、可変式吸気動弁機構40は、吸気カムシャフト5の回転に伴って、各シリンダ3aの吸気弁4を開閉駆動するとともに、吸気弁4のリフトを無段階に変更することにより、吸入空気量を変更するものであり、その詳細については、後述する。なお、本実施形態では、「吸気弁4のリフト(以下「バルブリフト」という)」は、吸気弁4の最大揚程を表すものとする。

[0036] 一方、排気弁7は、そのステム7aがガイド7bに摺動自在に嵌合しており、このガイド7bは、シリンダヘッド3cに固定されている。さらに、排気弁7は、上下のスプリングシート7c、7dと、これらの間に設けられたバルブスプリング7eとを備えており、このバルブスプリング7eにより、閉弁方向に付勢されている。

[0037] また、排気カムシャフト8は、これと一体の排気スプロケット(図示せず)を備え、この排気スプロケットおよび図示しないタイミングベルトを介してクランクシャフト3dに連結されており、それにより、クランクシャフト3dが2回転するごとに1回転する。さらに、排気カム9は、排気カムシャフト8上にこれと一体に回転するようにシリンダ3aごとに設けられている。

[0038] さらに、排気動弁機構30は、ロッカアーム31を備えており、このロッカアーム31が排気カム9の回転に伴って回転することにより、バルブスプリング7eの付勢力に抗しながら、排気弁7を開閉駆動する。

[0039] また、エンジン3には、クランク角センサ20および水温センサ21がそれぞれ設けられている。このクランク角センサ20は、クランクシャフト3dの回転に伴い、いずれもパルス信号であるCRK信号およびTDC信号をECU2に出力する。このCRK信号は、所定のクランク角(例えば10°)ごとに1パルスが出力され、ECU2は、このCRK信号に基づき、エンジン3の回転数(以下「エンジン回転数」という)NEを算出する。また、TDC信号は、各シリンダ3aのピストン3bが吸気行程のTDC位置よりも若干、手前の所定のクランク角位置にあることを表す信号であり、所定クランク角ごとに1パルスが

出力される。

- [0040] 一方、水温センサ21は、エンジン3のシリンダブロック3fに取り付けられたサーミスタなどで構成されており、シリンダブロック3f内を循環する冷却水の温度であるエンジン水温TWを表す検出信号をECU2に出力する。
- [0041] また、エンジン3の吸気管10には、上流側から順に、エアフローセンサ22、スロットル弁機構11、吸気管内絶対圧センサ23および燃料噴射弁12などが設けられている。このエアフローセンサ22は、熱線式エアフローメータで構成されており、吸入空気量Gcylを表す検出信号をECU2に出力する。
- [0042] また、スロットル弁機構11は、スロットル弁11aおよびこれを開閉駆動するTHアクチュエータ11bなどを備えている。スロットル弁11aは、吸気管10の途中に回動自在に設けられており、当該回動に伴う開度の変化により吸入空気量Gcylを変化させる。THアクチュエータ11bは、ECU2に接続されたモータにギヤ機構(いずれも図示せず)を組み合わせたものであり、ECU2からの駆動信号によって駆動されることにより、スロットル弁11aの開度を変化させる。
- [0043] ECU2は、通常運転時、スロットル弁11aを全開状態に保持するとともに、可変式吸気動弁機構40の故障時またはマスタバック(図示せず)への負圧供給時には、スロットル弁11aの開度を制御する。
- [0044] また、吸気管10のスロットル弁11aよりも下流側の部分は、サージタンク10aになっており、このサージタンク10aに、吸気管内絶対圧センサ23が設けられている。この吸気管内絶対圧センサ23は、例えば半導体圧力センサなどで構成され、吸気管10内の絶対圧(以下「吸気管内絶対圧」という)PBAを表す検出信号をECU2に出力する。
- [0045] さらに、燃料噴射弁12は、ECU2からの、燃料噴射量に応じた駆動信号によって駆動され、燃料を吸気管10内に噴射する。
- [0046] また、エンジン3のシリンダヘッド3cには、点火プラグ13(図2参照)が取り付けられている。この点火プラグ13は、図示しない点火コイルを介してECU2に接続されており、ECU2からの駆動信号(電圧信号)が、後述する点火時期Ig\_logに応じたタイミングで加えられることで放電し、燃焼室内の混合気を燃焼させる。

- [0047] 次に、前述した可変式吸気動弁機構40について説明する。この可変式吸気動弁機構40は、図4に示すように、吸気カムシャフト5、吸気カム6および可変バルブリフト機構50などで構成されている。
- [0048] この可変バルブリフト機構50は、吸気カムシャフト5の回転に伴って吸気弁4を開閉駆動するとともに、バルブリフトLiftinを無段階に変更することで、吸入空気量Gcylを無段階に変更するものであり、シリンダ3aごとに設けられた四節リンク式のロッカアーム機構51と、これらのロッカアーム機構51を同時に駆動するリフトアクチュエータ60（図5参照）などを備えている。
- [0049] 各ロッカアーム機構51は、ロッカアーム52および上下のリンク53、54などで構成されている。この上リンク53の一端部は、上ピン55を介して、ロッカアーム52の上端部に回動自在に取り付けられており、他端部は、ロッカアームシャフト56に回動自在に取り付けられている。このロッカアームシャフト56は、図示しないホルダを介して、シリンダヘッド3cに取り付けられている。
- [0050] また、ロッカアーム52の上ピン55上には、ローラ57が回動自在に設けられている。このローラ57は、吸気カム6のカム面に当接しており、吸気カム6が回転する際、そのカム面に案内されながら吸気カム6上を転動する。これにより、ロッカアーム52は上下方向に駆動されるとともに、上リンク53が、ロッカアームシャフト56を中心として回転する。
- [0051] さらに、ロッカアーム52の吸気弁4側の端部には、アジャストボルト52aが取り付けられている。このアジャストボルト52aは、吸気カム6の回転に伴ってロッカアーム52が上下方向に移動すると、バルブスプリング4eの付勢力に抗しながら、ステム4aを上下方向に駆動し、吸気弁4を開閉する。
- [0052] また、下リンク54の一端部は、下ピン58を介して、ロッカアーム52の下端部に回動自在に取り付けられており、下リンク54の他端部には、連結ピン59が回動自在に取り付けられている。下リンク54は、この連結ピン59を介して、リフトアクチュエータ60の後述する短アーム65に連結されている。
- [0053] 一方、リフトアクチュエータ60は、図5に示すように、モータ61、ナット62、リンク63、長アーム64および短アーム65などを備えている。このモータ61は、ECU2に接続さ

れ、エンジン3のヘッドカバー3eの外側に配置されている。モータ61の回転軸は、雄ねじが形成されたねじ軸61aになっており、このねじ軸61aに、ナット62が螺合している。このナット62は、リンク63を介して、長アーム64に連結されている。このリンク63の一端部は、ピン63aを介して、ナット62に回転自在に取り付けられ、他端部は、ピン63bを介して、長アーム64の一端部に回転自在に取り付けられている。

[0054] また、長アーム64の他端部は、回転軸66を介して短アーム65の一端部に取り付けられている。この回転軸66は、断面円形に形成され、エンジン3のヘッドカバー3eを貫通しているとともに、これに回転自在に支持されている。この回転軸66の回転に伴い、長アーム64および短アーム65はこれと一体に回転する。

[0055] さらに、短アーム65の他端部には、前述した連結ピン59が回転自在に取り付けられており、これにより、短アーム65は、連結ピン59を介して、下リンク54に連結されている。

[0056] 次に、以上のように構成された可変バルブリフト機構50の動作について説明する。この可変バルブリフト機構50では、後述するリフト制御入力U<sub>liftin</sub>に応じた駆動信号がECU2からリフトアクチュエータ60に入力されると、ねじ軸61aが回転し、それに伴うナット62の移動により、長アーム64および短アーム65が回転軸66を中心として回転するとともに、この短アーム65の回転に伴って、ロッカアーム機構51の下リンク54が、下ピン58を中心として回転する。すなわち、リフトアクチュエータ60により、下リンク54が駆動される。

[0057] その際、ECU2による制御により、短アーム65の回転範囲は、図5(a)に示す最大リフト位置と図5(b)に示す最小リフト位置との間に規制され、それにより、下リンク54の回転範囲も、図4に実線で示す最大リフト位置と、図4に2点鎖線で示す最小リフト位置との間に規制される。

[0058] 下リンク54が最大リフト位置にある場合、ロッカアームシャフト56、上下のピン55、58および連結ピン59によって構成される四節リンクでは、上ピン55および下ピン58の中心間の距離が、ロッカアームシャフト56および連結ピン59の中心間の距離よりも長くなるように構成されており、それにより、図6(a)に示すように、吸気カム6が回転すると、これとローラ57との当接点の移動量よりも、アジャストボルト52aの移動量の方が

大きくなる。

- [0059] 一方、下リンク54が最小リフト位置にある場合、上記四節リンクでは、上ピン55および下ピン58の中心間の距離が、ロッカアームシャフト56および連結ピン59の中心間の距離よりも短くなるように構成されており、それにより、図6(b)に示すように、吸気カム6が回転すると、これとローラ57との当接点の移動量よりも、アジャストボルト52aの移動量の方が小さくなる。
- [0060] 以上の理由により、吸気弁4は、下リンク54が最大リフト位置にあるときには、最小リフト位置にあるときよりも大きなバルブリフトLiftinで開弁する。具体的には、吸気カム6の回転中、吸気弁4は、下リンク54が最大リフト位置にあるときには、図7の実線で示すバルブリフト曲線に従って開弁し、バルブリフトLiftinは、その最大値Liftinmaxを示す。一方、下リンク54が最小リフト位置にあるときには、図7の2点鎖線で示すバルブリフト曲線に従って開弁し、バルブリフトLiftinは、その最小値Liftinminを示す。
- [0061] したがって、この可変バルブリフト機構50では、アクチュエータ60を介して、下リンク54を最大リフト位置と最小リフト位置との間で回動させることにより、バルブリフトLiftinを、最大値Liftinmaxと最小値Liftinminとの間で無段階に変化させ、それにより、吸入空気量Gcylを所定範囲内で無段階に変化させることができる。
- [0062] また、エンジン3には、回動角センサ24が設けられており(図2参照)、この回動角センサ24は、回動軸66すなわち短アーム65の回動角を表す検出信号をECU2に出力する。ECU2は、この回動角センサ24の検出信号に基づき、バルブリフトLiftinを算出する。
- [0063] さらに、図2に示すように、ECU2には、アクセル開度センサ25、車速センサ26、エアコン・スイッチ(以下「AC・SW」という)27、交流発電機・スイッチ(以下「ACG・SW」という)28およびパワーステアリングポンプ・スイッチ(以下「PSP・SW」という)29がそれぞれ接続されている。
- [0064] このアクセル開度センサ25は、車両の図示しないアクセルペダルの踏み込み量(以下「アクセル開度」という)APを表す検出信号をECU2に出力する。また、車速センサ26は、車両の図示しない車軸に取り付けられており、車両の走行速度である車



速VPを表す検出信号をECU2に出力する。

- [0065] さらに、AC・SW27は、図示しないエアコンディショナーが作動中のときにはON信号をECU2に出力し、停止中のときにはOFF信号を出力する。また、ACG・SW28は、図示しない交流発電機が作動中のときにはON信号をECU2に出力し、停止中のときにはOFF信号を出力する。さらに、PSP・SW29は、図示しないパワーステアリングポンプが作動中のときにはON信号をECU2に出力し、停止中のときにはOFF信号を出力する。なお、本実施形態では、エアコンディショナー、交流発電機およびパワーステアリングポンプの作動／停止状態や、エンジン水温TWが制御対象の状態に相当する。
- [0066] ECU2は、CPU、RAM、ROMおよびI/Oインターフェース(いずれも図示せず)などからなるマイクロコンピュータで構成されており、前述した各種のセンサ20～26の検出信号および各種のスイッチ27～29のON/OFF信号などに応じて、エンジン3の運転状態を判別するとともに、アイドル回転数制御を含む各種の制御処理を実行する。このアイドル回転数制御では、ECU2は、後述するように、アイドル運転中、可変バルブリフト機構50を介してバルブリフトLiftinすなわち吸入空気量Gcylを制御すると同時に、点火プラグ13を介して点火時期Ig\_logを制御し、それにより、エンジン回転数NEを制御する。
- [0067] なお、本実施形態では、ECU2により、目標値算出手段、フィルタリング目標値算出手段、制御入力算出手段および外乱推定値算出手段が構成されている。
- [0068] 次に、図8を参照しながら、本実施形態の制御装置1について説明する。同図に示すように、この制御装置1は、アイドル回転数コントローラ70を備えており、このアイドル回転数コントローラ70(制御入力算出手段)は、具体的にはECU2により構成されている。
- [0069] アイドル回転数コントローラ70では、以下に述べるように、協調型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、吸入空気量Gcylおよび点火時期Ig\_logを互いに協調させながら制御するための、フィードバック補正項としての点火制御入力Usl\_igおよび吸気制御入力Usl\_arが算出され、これらの制御入力Usl\_ig、Usl\_arを制御対象69に入力することにより、アイドル運転中、エンジン回転数NEが目標回

転数NE\_\_cmdに収束するようにフィードバック制御される。すなわち、吸入空気量制御および点火時期制御を互いに協調させながら、アイドル回転数制御が行われる。なお、この制御対象69は、点火制御入力Usl\_\_igおよび吸気制御入力Usl\_\_arを入力とし、エンジン回転数NEを出力とする系として定義される。

- [0070] アイドル回転数コントローラ70は、目標値算出部71、目標値追従応答設定部72、協調ゲインスケジューラ73、点火時期コントローラ80および吸入空気量コントローラ90を備えている。
- [0071] まず、目標値算出部71(目標値算出手段)では、アイドル運転中、エンジン回転数NE(制御対象の出力)の目標値となる目標回転数NE\_\_cmdが算出される。具体的には、まず、エンジン水温TWに応じて、図9に示すテーブルを検索することにより、アイドル用基準値NE\_\_cmd\_\_twを算出する。同図において、TW1、TW2は、 $TW1 < TW2$ の関係が成立する所定値(例えば $TW1 = 40^{\circ}\text{C}$ 、 $TW2 = 70^{\circ}\text{C}$ )であり、NE\_\_cmd1、NE\_\_cmd2は、 $NE\_cmd1 > NE\_cmd2$ の関係が成立する所定値である。このテーブルでは、アイドル用基準値NE\_\_cmd\_\_twは、 $TW < TW1$ の範囲では、所定値NE\_\_cmd1に設定され、 $TW > TW2$ の範囲では、所定値NE\_\_cmd2に設定されているとともに、 $TW1 \leq TW \leq TW2$ の範囲では、エンジン水温TWが高いほど、より低い値に設定されている。これは、エンジン水温TWが高いときには、エンジン3の燃焼状態が安定することで、より低いエンジン回転数NEでアイドル運転を実行可能であることによる。
- [0072] 次いで、上記のように算出したアイドル用基準値NE\_\_cmd\_\_twに、総補正項DNE\_\_loadを加算することにより、目標回転数NE\_\_cmdが算出される( $NE\_cmd = NE\_cmd\_tw + DNE\_load$ )。この総補正項DNE\_\_loadは、3つの補正項DNE1、DNE2、DNE3の和として算出され( $DNE\_load = DNE1 + DNE2 + DNE3$ )、これらの補正項DNE1、DNE2、DNE3はそれぞれ、3つのスイッチ27~29のON/OFF状態に応じて設定される、
- [0073] 具体的には、補正項DNE1は、AC・SW27がON状態のときには所定値(例えば50rpm)に、OFF状態のときには値0に設定される。また、補正項DNE2は、ACG・SW28がON状態のときには所定値(例えば100rpm)に、OFF状態のときには値0に

設定される。さらに、補正項DNE3は、PSP・SW29がON状態のときには所定値(例えば100rpm)に、OFF状態のときには値0に設定される。

- [0074] また、目標値追従応答設定部72(フィルタリング目標値算出手段)では、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_\_fが、目標値算出部71で算出された目標回転数NE\_\_cmdの変化度合いに応じて算出される。この目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_\_fは、目標回転数NE\_\_cmdに対するエンジン回転数NEの追従応答性を設定するためのものであり、具体的には、偏差絶対値ADNE(目標値の変化度合い)に応じて、図10に示すテーブルを検索することにより、算出される。この偏差絶対値ADNEは、目標回転数の今回値NE\_\_cmd(k)と前回値NE\_\_cmd(k-1)との偏差の絶対値として算出される( $ADNE = |NE\_cmd(k) - NE\_cmd(k-1)|$ )。また、同図のADNE1, ADNE2は、 $ADNE1 < ADNE2$ の関係が成立する所定値であり、POLE\_\_f1, POLE\_\_f2は、 $POLE\_f1 < POLE\_f2$ の関係が成立する所定値である。
- [0075] 同図10に示すように、このテーブルにおいては、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_\_fは、 $ADNE1 \leq ADNE \leq ADNE2$ の範囲では、偏差絶対値ADNEが大きいほど、より大きい値(より値0に近い値)に設定されている。これは、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_\_fは、後述するように、目標値フィルタでのフィルタリング値NE\_\_cmd\_\_fの算出において、目標回転数NE\_\_cmdに対するエンジン回転数NEの追従応答性を設定するように用いられるので、偏差絶対値ADNEが大きく、エンジン回転数NEの変動状態が大きいときには、それに対応すべく、フィルタリング値NE\_\_cmd\_\_fに対する目標回転数NE\_\_cmdの反映度合いを高めることで、目標回転数NE\_\_cmdに対するエンジン回転数NEの追従応答性をより向上させるためである。
- [0076] また、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_\_fは、 $ADNE < ADNE1$ の範囲では、所定値POLE\_\_f1に設定され、 $ADNE > ADNE2$ の範囲では、所定値POLE\_\_f2に設定されている。これは、エンジン回転数NEの変動状態がかなり小さい場合またはかなり大きい場合、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_\_fにより、目標回転数NE\_\_cmdに対するエンジン回転数NEの追従応答性を設定するのに限界があることによる。
- [0077] さらに、協調ゲインスケジューラ73では、点火制御入力Usl\_\_igの算出に用いる到

達則ゲイン $K_{rch\_ig}$ および適応則ゲイン $K_{adp\_ig}$ と、吸気制御入力 $U_{sl\_ar}$ の算出に用いる到達則ゲイン $K_{rch\_ar}$ および適応則ゲイン $K_{adp\_ar}$ とがそれぞれ設定される。この協調ゲインスケジューラ73の詳細に関しては、後述する。

[0078] 次に、前述した点火時期コントローラ80について説明する。この点火時期コントローラ80は、以下に述べるように、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ を算出するものであり、目標値フィルタ81、切換関数算出部82、等価制御入力算出部83、到達則入力算出部84、適応則入力算出部85および加算要素86で構成されている。

[0079] この目標値フィルタ81(フィルタリング目標値算出手段)では、前述した目標値算出部71で算出された目標回転数 $NE\_cmd$ 、および目標値追従応答設定部72で設定された目標値フィルタ設定パラメータ $POLE\_f$ を用い、図11の式(1)に示す一次遅れフィルタアルゴリズムにより、目標回転数のフィルタリング値 $NE\_cmd\_f$ (フィルタリング目標値)が算出される。これにより、フィルタリング値 $NE\_cmd\_f$ は、目標回転数 $NE\_cmd$ に対して、目標値フィルタ設定パラメータ $POLE\_f$ の値により決定された一次遅れの追従応答性を示す値として算出される。

[0080] なお、同式(1)において、記号(k)付きの各離散データは、所定の制御周期に同期してサンプリング(または算出)されたデータであることを示しており、記号kは各離散データのサンプリングサイクルの順番を表している。例えば、記号kは今回の制御タイミングでサンプリングされた値であることを、記号k-1は前回の制御タイミングでサンプリングされた値であることをそれぞれ示している。この点は、以下の離散データにおいても同様である。なお、以下の説明では、各離散データにおける記号(k)などを適宜、省略する。

[0081] また、切換関数算出部82では、図11の式(2)、(3)により、切換関数 $\sigma_{ne}$ (線形関数)が算出される。同式(2)において、 $POLE$ は、切換関数設定パラメータであり、 $-1 < POLE < 0$ の範囲内の値に設定される。また、 $E_{ne}$ は、追従誤差であり、式(3)に示すように、エンジン回転数の今回値 $NE(k)$ と、目標回転数のフィルタリング値の前回値 $NE\_cmd\_f(k-1)$ との偏差として定義される。

[0082] なお、追従誤差 $E_{ne}$ をこのように定義する理由は、 $E_{ne}(k) = NE(k) - NE\_cmd$

$\_f(k)$ と定義すると、後述する等価制御入力 $Ueq\_ig$ ,  $Ueq\_ar$ の算出において、目標回転数のフィルタリング値の次回値 $NE\_cmd\_f(k+1)$ が必要になるので、これを回避するためである。また、追従誤差 $Ene$ を式(3)のように定義した場合でも、後述するように、等価制御入力 $Ueq\_ig$ ,  $Ueq\_ar$ の算出において、目標回転数のフィルタリング値の今回値 $NE\_cmd\_f(k)$ が用いられ、これがフィードフォワード的に反映されることにより、点火制御入力 $Usl\_ig$ および吸気制御入力 $Usl\_ar$ をいずれも、目標回転数のフィルタリング値の今回値 $NE\_cmd\_f(k)$ が十分に反映された値として算出することができる。

[0083] さらに、等価制御入力算出部83では、エンジン回転数 $NE$ 、フィルタリング値 $NE\_cmd\_f$ および切換関数設定パラメータ $POLE$ に基づき、図11の式(4)により、等価制御入力 $Ueq\_ig$ が算出される。同式(4)において、 $a1$ ,  $a2$ ,  $b1$ ,  $b2$ は、後述するモデル[図12の式(13)]のモデルパラメータである。

[0084] 一方、到達則入力算出部84では、協調ゲインスケジューラ73で設定された到達則ゲイン $Krch\_ig$ を用い、図11の式(5)により、到達則入力 $Urch\_ig$ が算出される。

[0085] また、適応則入力算出部85では、図11の式(6)に示す忘却積分処理により、切換関数の積分値に忘却処理を施した値である忘却積分値 $sum\_σ ne$ が算出され、さらに、この忘却積分値 $sum\_σ ne$ および協調ゲインスケジューラ73で設定された適応則ゲイン $Kadp\_ig$ を用い、式(7)により、適応則入力 $Uadp\_ig$ が算出される。同式(6)において、 $FGT$ は、忘却係数であり、 $0 < FGT < 1$ の範囲内の値に設定される。

[0086] 同式(6)に示すように、忘却係数 $FGT$ は、切換関数の忘却積分値の前回値 $sum\_σ ne(k-1)$ に乘算されるので、同式(6)を漸化式により展開すると、 $n$ 回前の値 $sum\_σ ne(k-n)$ に対しては、 $FGT^n (\neq 0)$ が乗算されることになる。その結果、演算処理の進行に伴い、切換関数の忘却積分値 $sum\_σ ne$ は、値0に収束するようになり、適応則入力 $Uadp\_ig$ も値0に収束するようになる。このように、適応則入力 $Uadp\_ig$ を切換関数 $σ ne$ の忘却積分値 $sum\_σ ne$ を用いて算出することで、点火制御入力 $Usl\_ig$ が遅角補正側の値に保持されることがなくなり、その結果、後述する点火時期制御において、点火時期 $Ig\_log$ がリタード状態に長時間、保持されることが

なくなり、良好な燃焼状態を確保することができる。なお、点火時期 $Ig\_log$ がリタード側に長時間、保持されてもよい場合には、一般的なスライディングモード制御アルゴリズムのように、式(6)において、忘却係数 $FGT$ を値1に設定し、適応則入力 $Uadp\_ig$ を、切換関数 $\sigma_{ne}$ の一般的な積分値に基づいて算出してもよい。

[0087] さらに、加算要素86では、以上のように算出された等価制御入力 $Ueq\_ig$ 、到達則入力 $Urch\_ig$ および適応則入力 $Uadp\_ig$ を用い、図11の式(8)により、点火制御入力 $Usl\_ig$ が算出される。

[0088] 点火時期コントローラ80では、以上のように、式(1)～(8)の目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、フィードバック補正項としての点火制御入力 $Usl\_ig$ が算出される。また、後述する点火時期制御では、この点火制御入力 $Usl\_ig$ に点火基準値 $Ig\_base$ を加算することにより、点火時期 $Ig\_log$ が算出される。なお、以上の式(1)～(8)は、エンジン回転数 $NE$ および点火制御入力 $Usl\_ig$ の動特性の関係を表すモデルを、図12の式(13)のように定義し、エンジン回転数 $NE$ が目標回転数 $NE\_cmd$ に収束するように、このモデルと目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御則とを用いることにより、導出される。

[0089] 次に、前述した吸入空気量コントローラ90について説明する。この吸入空気量コントローラ90は、以下に述べるように、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、吸気制御入力 $Usl\_ar$ を算出するものであり、前述した目標値フィルタ81、前述した切換関数算出部82、等価制御入力算出部93、到達則入力算出部94、適応則入力算出部95および加算要素96で構成されている。すなわち、この吸入空気量コントローラ90では、目標値フィルタ81および切換関数算出部82を点火時期コントローラ80と共用することにより、目標回転数のフィルタリング値 $NE\_cmd\_f$ および切換関数 $\sigma_{ne}$ を共用しながら、吸気制御入力 $Usl\_ar$ が算出される。

[0090] また、等価制御入力算出部93では、エンジン回転数 $NE$ 、フィルタリング値 $NE\_cmd\_f$ および切換関数設定パラメータ $POLE$ を用い、図12の式(9)により、等価制御入力 $Ueq\_ar$ が算出される。同式(9)において、 $a1'$ 、 $a2'$ 、 $b1'$ 、 $b2'$ は、後述するモデル[図12の式(14)]のモデルパラメータである。

[0091] 一方、到達則入力算出部94では、協調ゲインスケジューラ73で設定された到達則

ゲイン $Krch\_ar$ を用い、図12の式(10)により、到達則入力 $Urch\_ar$ が算出される。

[0092] また、適応則入力算出部95では、協調ゲインスケジューラ73で設定された適応則ゲイン $Kadp\_ar$ を用い、図12の式(11)により、適応則入力 $Uadp\_ar$ が算出される。

[0093] さらに、加算要素96では、以上のように算出された等価制御入力 $Ueq\_ar$ 、到達則入力 $Urch\_ar$ および適応則入力 $Uadp\_ar$ を用い、図12の式(12)により、吸気制御入力 $Usl\_ar$ が算出される。

[0094] 吸入空気量コントローラ90では、以上のように、式(1)～(3)、(9)～(12)に示す目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、フィードバック補正項としての吸気制御入力 $Usl\_ar$ が算出される。また、後述する吸入空気量制御では、この吸気制御入力 $Usl\_ar$ にリフト基準値 $Liftin\_base$ を加算することにより、目標バルブリフト $Liftin\_cmd$ が算出される。なお、以上の式(1)～(3)、(9)～(12)は、エンジン回転数 $NE$ および吸気制御入力 $Usl\_ar$ の動特性の関係を表すモデルを、図12の式(14)のように定義し、エンジン回転数 $NE$ が目標回転数 $NE\_cmd$ に収束するように、このモデルと目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御則とを用いることにより、導出される。

[0095] 次に、前述した協調ゲインスケジューラ73について説明する。この協調ゲインスケジューラ73では、切換関数 $\sigma_{ne}$ の値に応じて、図13、14に示すテーブルを検索することにより、前述した4つのゲイン $Krch\_ig$ 、 $Kadp\_ig$ 、 $Krch\_ar$ 、 $Kadp\_ar$ がそれぞれ算出される。なお、両図13、14における $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ は、 $\sigma_1 < \sigma_2$ の関係が成立する正の所定値である。

[0096] まず、図13のテーブルを参照すると、このテーブルでは、到達則ゲイン $Krch\_ig$ および適応則ゲイン $Kadp\_ig$ はそれぞれ、切換関数 $\sigma_{ne}$ の正側および負側の値に対して対称に設定されており、値0付近の $-\sigma_1 < \sigma_{ne} < \sigma_1$ の範囲では、所定の最大値 $Krch\_ig1$ 、 $Kadp\_ig1$ を示すように設定されているとともに、 $\sigma_{ne} < -\sigma_2$ 、 $\sigma_2 < \sigma_{ne}$ の範囲では、所定の最小値 $Krch\_ig2$ 、 $Kadp\_ig2$ を示すように設定されている。また、 $-\sigma_2 \leq \sigma_{ne} \leq \sigma_1$ 、 $\sigma_1 \leq \sigma_{ne} \leq \sigma_2$ の範囲では、 $\sigma_{ne}$ の絶対

値が小さくなるほど、より大きな値に設定されている。

- [0097] 一方、図14のテーブルを参照すると、このテーブルでは、到達則ゲイン $Krch\_ar$ および適応則ゲイン $Kadp\_ar$ はそれぞれ、切換関数 $\sigma_{ne}$ の正側および負側の値に対して対称に設定されており、値0付近の $-\sigma_1 < \sigma_{ne} < \sigma_1$ の範囲では、所定の最小値 $Krch\_ar1$ ,  $Kadp\_ar1$ を示すように設定されているとともに、 $\sigma_{ne} < -\sigma_2$ ,  $\sigma_2 < \sigma_{ne}$ の範囲では、所定の最大値 $Krch\_ar2$ ,  $Kadp\_ar2$ を示すように設定されている。また、 $-\sigma_2 \leq \sigma_{ne} \leq \sigma_1$ ,  $\sigma_1 \leq \sigma_{ne} \leq \sigma_2$ の範囲では、 $\sigma_{ne}$ の絶対値が小さくなるほど、より小さな値に設定されている。
- [0098] 4つのゲイン $Krch\_ig$ ,  $Kadp\_ig$ ,  $Krch\_ar$ ,  $Kadp\_ar$ の値が以上のように設定されている理由は、以下による。すなわち、前述したように、点火時期制御は、その応答遅れが小さく、無駄時間が小さいとともに、制御の分解能が高い(最小の点火制御入力 $Usl\_ig$ に対するエンジン回転数 $NE$ の変化度合いが小さい)ものの、エンジン3の燃焼状態の観点から、制御幅が限定されてしまうという特徴を備えている。一方、吸入空気量制御は、制御の分解能が点火時期制御と比べて低く、目標回転数 $NE\_cmd$ の大きな変化に対しても対応できる反面、点火時期制御と比べて、エンジン回転数 $NE$ の制御精度が低いとともに、応答遅れが大きく、無駄時間が大きいので、エンジン回転数 $NE$ の目標回転数 $NE\_cmd$ への収束性が悪いという特徴を備えている。
- [0099] さらに、本実施形態のアイドル回転数コントローラ70では、前述したように目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムを用いているので、切換関数 $\sigma_{ne}$ の絶対値が値0に近い場合には、目標値フィルタ81により設定された、目標回転数 $NE\_cmd$ に対するエンジン回転数 $NE$ の追従挙動と実際の追従挙動との差が小さいとともに、切換関数 $\sigma$ により指定された追従誤差 $E_{ne}$ の値0への収束挙動と実際の収束挙動との差が小さい状態にある。したがって、切換関数 $\sigma_{ne}$ の絶対値が値0に近いときには、アイドル回転数制御の分解能および制御精度を高めるべく、アイドル回転数制御への点火時期制御の寄与度合いを高めると同時に、吸入空気量制御の寄与度合いを低くするためである。これとは逆に、切換関数 $\sigma_{ne}$ の絶対値が大きい場合、目標値フィルタ81により設定された上記追従挙動と実際の追従挙動との



差が大きいとともに、切換関数  $\sigma$  により指定された上記収束挙動と実際の収束挙動との差が大きい状態にあるので、アイドル回転数制御の応答性を高めるべく、アイドル回転数制御への吸入空気量制御の寄与度合いを高めると同時に、点火時期制御の寄与度合いを低くするためである。

- [0100] 以上の理由により、本実施形態のアイドル回転数コントローラ70における点火時期制御および吸入空気量制御の協調制御の場合、図13, 14にハッチングで示す領域が、点火時期制御がメインの領域となり、それ以外の領域は、吸入空気量制御がメインの領域となる。また、図15に示すように、切換関数  $\sigma_{ne}$  の場合、その値が切換直線に近い領域(図15のハッチングで示す領域)が点火時期制御がメインの領域となり、それ以外の領域は、吸入空気量制御がメインの領域となる。これと同様に、エンジン回転数NEおよび目標回転数NE\_\_cmdの関係においては、図16に示すように、両者の乖離度合いが小さい領域(図16のハッチングで示す領域)が、点火時期制御がメインの領域となり、それ以外の領域は、吸入空気量制御がメインの領域となる。
- [0101] 次に、以上のように構成されたアイドル回転数コントローラ70によるアイドル回転数制御の制御シミュレーション結果について説明する。まず、図17は、目標回転数NE\_\_cmdを目標値NE1(例えば800rpm)と、これより高い目標値NE2(例えば900rpm)との間でパルス入力のように変化させた場合の制御シミュレーション結果を示しており、より具体的には、図17(a)は、本実施形態のアイドル回転数制御の制御シミュレーション結果を示している。また、図17(b)は、アイドル回転数コントローラ70の協調ゲインスケジューラ73を省略し、前述した4つのゲインを固定ゲインに設定した場合の比較例の制御シミュレーション結果を示している。
- [0102] さらに、図17(c)は、前述した4つのゲインを固定ゲインに設定するとともに、点火時期制御の追従誤差Eneの値0への収束速度が吸入空気量制御のものよりも速くなるように、点火時期制御の切換関数設定パラメータPOLEの絶対値を、吸入空気量制御のものよりも小さい値に設定した場合の比較例の制御シミュレーション結果を示しており、図17(d)は、前述した4つのゲインを固定ゲインに設定するとともに、図17(c)の例とは逆に、吸入空気量制御の追従誤差Eneの値0への収束速度が点火時期制御のものよりも速くなるように、2つの切換関数設定パラメータPOLEの値を設定し

た場合の比較例の制御シミュレーション結果を示している。

- [0103] 以上の4つの制御シミュレーション結果を参照すると、図17(b)に示す比較例では、吸入空気量制御と点火時期制御において同じ切換関数 $\sigma_{ne}$ を用いた場合でも、4つのゲインを固定ゲインに設定すると、エンジン回転数NEが目標値NE1に収束する際、アンダーシュートを生じてしまい、収束挙動が不安定になるとともに、収束速度が低下することが判る。
- [0104] また、図17(c)に示す比較例では、前述した4つのゲインを固定ゲインに設定するとともに、点火時期制御の追従誤差 $E_{ne}$ の値0への収束速度が吸入空気量制御のものよりも速くなるように設定すると、エンジン回転数NEが目標値NE1に収束する際、アンダーシュートは生じないものの、目標値NE1に対するエンジン回転数NEの乖離度合いが大きい状態が連続するとともに、収束速度が低下することが判る。さらに、図17(d)に示すように、点火時期制御の追従誤差 $E_{ne}$ の値0への収束速度が吸入空気量制御のものよりも遅くなるように設定すると、エンジン回転数NEが目標値NE1に収束する際、アンダーシュートを生じてしまい、収束挙動が不安定になるとともに、収束速度が低下することが判る。
- [0105] これに対して、図17(a)に示す本実施形態のアイドル回転数制御の制御シミュレーション結果では、エンジン回転数NEが目標値NE1に収束する際、アンダーシュートを生じることなく、収束挙動が安定するとともに、その収束速度が比較例よりも速いことが判る。すなわち、本実施形態のアイドル回転数コントローラ70のように、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ および吸気制御入力 $U_{sl\_ar}$ の算出において、目標回転数のフィルタリング値 $NE\_cmd\_f$ および切換関数 $\sigma_{ne}$ を共用すると同時に、協調ゲインスケジューラ73によりゲインスケジューリングされた4つのゲイン $K_{rch\_ig}$ ,  $K_{adp\_ig}$ ,  $K_{rch\_ar}$ ,  $K_{adp\_ar}$ を用いることにより、エンジン回転数NEを目標回転数 $NE\_cmd$ に収束させる際、安定した収束挙動および迅速な収束性をいずれも確保できることが判る。
- [0106] また、図18は、本実施形態のアイドル回転数コントローラ70によるアイドル回転数制御の制御シミュレーション結果を示しており、図19は、比較のために、アイドル回転数コントローラ70の点火時期コントローラ80における適応則入力 $U_{adp\_ig}$ の算出に

において、忘却係数 $FTG=1$ とした場合、すなわち、忘却積分処理を行わず、通常の積分処理により、適応則入力 $U_{adp\_ig}$ を算出した場合の比較例の制御シミュレーション結果を示している。なお、両図において、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ における正側および負側の値はそれぞれ、進角側および遅角側の補正量を表しており、吸気制御入力 $U_{sl\_ar}$ における正側および負側の値はそれぞれ、吸入空気量の増大側および減少側の補正量を表している。

[0107] まず、図19を参照すると、比較例のアイドル回転数制御では、目標回転数 $NE\_cmd$ の微小な変動に対して、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ の方の変動頻度が多く、吸気制御入力 $U_{sl\_ar}$ の変動頻度が少ないことが判る。すなわち、点火時期制御の方が、吸入空気量制御よりも分解能が高いので、点火時期制御および吸入空気量制御の協調制御において、点火時期制御がメイン側の制御となっていることが判る。また、急激なアクセルペダル操作などにより、目標回転数 $NE\_cmd$ が、目標値 $NE1$ と目標値 $NE3$  (例えば1300rpm)との間で、インパルス入力のように一時的に急激に変化した場合、それを補償するために、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ が遅角側に制御される(時刻 $t2$ )とともに、それ以降、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ が遅角側に保持されることで、燃焼効率の低下を招いてしまうことが判る。

[0108] これに対して、図18に示すように、本実施形態のアイドル回転数制御では、目標回転数 $NE\_cmd$ の微小な変動に対して、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ および吸気制御入力 $U_{sl\_ar}$ の双方が頻繁に変動していることが判る。すなわち、点火時期制御および吸入空気量制御の協調制御において、メイン側の制御の切り換えが頻繁に発生していることが判る。また、目標回転数 $NE\_cmd$ が、目標値 $NE1$ と目標値 $NE3$  (例えば1300rpm)との間で一時的に急激に変化した場合、それを補償するために、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ が遅角側に制御されたとき(時刻 $t1$ )でも、それ以降、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ が値0側に徐々に進角されており、燃焼効率の低下を回避できることが判る。

[0109] 次に、図20を参照しながら、ECU2により実行される、アイドル回転数制御処理を含む点火時期制御処理および吸入空気量制御処理について説明する。この制御処理は、タイマ設定により所定周期で実行される。

[0110] この処理では、まず、ステップ1(図では「S1」と略す。以下同じ)において、リフト正

常フラグF\_\_LIFTOKが「1」であるか否かを判別する。このリフト正常フラグF\_\_LIFTOKは、可変バルブリフト機構50が正常であるときには「1」に、故障しているときには「0」にそれぞれ設定される。

- [0111] ステップ1の判別結果がYESで、可変バルブリフト機構50が正常であるときには、ステップ2に進み、アイドル運転フラグF\_\_IDLEが「1」であるか否かを判別する。このアイドル運転フラグF\_\_IDLEは、アイドル運転条件が成立しているとき、すなわち、以下の3つの条件(f1)～(f3)がいずれも成立しているときには「1」に設定され、それ以外のときには「0」に設定される。

(f1) アクセル開度APが全閉状態を示す値であること。

(f2) 車速VPが所定値(例えば3km)以下であること。

(f3) エンジン回転数NEが所定値(例えば200rpm)以上であること。

- [0112] ステップ2の判別結果がYESのときには、アイドル回転数制御を実行すべきであるとして、ステップ3に進み、アイドル運転用の目標回転数NE\_\_cmdを、アイドル用基準値NE\_\_cmd\_\_twと総補正項DNE\_\_loadとの和に設定する。前述したように、アイドル用基準値NE\_\_cmd\_\_twは、エンジン水温TWに応じて、図9に示すテーブルを検索することにより算出され、総補正項DNE\_\_loadは、3つのスイッチ27～29のON/OFF状態に応じて算出される。

- [0113] 次いで、ステップ4で、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_\_fを、前述したように、偏差絶対値ADNEに応じて、図10に示すテーブルを検索することにより算出する。

- [0114] 次に、ステップ5で、目標回転数のフィルタリング値NE\_\_cmd\_\_fを、前述した式(1)により算出し、その後、ステップ6で、切換関数 $\sigma_{ne}$ を、前述した式(2)、(3)により算出する。

- [0115] 次いで、ステップ7で、点火制御入力Usl\_\_igを前述した式(4)～(8)により算出する。その後、ステップ8に進み、点火時期Ig\_\_logを、上記ステップ7で算出した点火制御入力Usl\_\_igに、点火基準値Ig\_\_baseを加算した値に設定する。この点火基準値Ig\_\_baseは、目標回転数NE\_\_cmdおよびエンジン水温TWに応じて、図21に示すマップを検索することにより算出される。同図において、TWa～TWcは、TWa < TWb < TWcの関係が成立する所定値であり、この点は以下の説明においても同様で

ある。

- [0116] 同図に示すように、このマップでは、点火基準値 $Ig\_base$ は、目標回転数 $NE\_cmd$ が高いほど、またエンジン水温 $TW$ が低いほど、より進角側の値に設定されている。これは、目標回転数 $NE\_cmd$ が高い場合、それに伴ってエンジン3の要求仕事量が大きくなるので、それに対応するためである。また、エンジン水温 $TW$ が低い場合、それに伴って燃焼の安定性が低下するので、それに対応するためである。
- [0117] ステップ8に続くステップ9では、吸気制御入力 $Usl\_ar$ を、前述した式(9)～(12)により算出する。
- [0118] 次に、ステップ10に進み、目標バルブリフト $Liftin\_cmd$ を、上記ステップ8で算出した吸気制御入力 $Usl\_ar$ に、リフト基準値 $Liftin\_base$ を加算した値に設定する。このリフト基準値 $Liftin\_base$ は、目標回転数 $NE\_cmd$ およびエンジン水温 $TW$ に応じて、図22に示すマップを検索することにより算出される。
- [0119] 同図に示すように、このマップでは、リフト基準値 $Liftin\_base$ は、目標回転数 $NE\_cmd$ が高いほど、またエンジン水温 $TW$ が低いほど、より大きな値に設定されている。これは、前述したように、目標回転数 $NE\_cmd$ が高い場合、それに伴って要求仕事量が大きくなるので、それに対応するためである。また、エンジン水温 $TW$ が低い場合、前述したように、それに伴って燃焼の安定性が低下するとともに、エンジン3のフリクションが増大するので、それに対応するためである。
- [0120] 次に、ステップ11に進み、リフト制御入力 $Uliftin$ を、バルブリフト $Liftin$ および目標バルブリフト $Liftin\_cmd$ に応じて、図23に示す式(15)～(21)の目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、算出する。
- [0121] これらの式(15)～(21)において、 $Liftin\_cmd\_f$ は目標バルブリフトのフィルタリング値を、 $\sigma_{li}$ は切換関数を、 $Eli$ は追従誤差を、 $Ueq\_li$ は等価制御入力を、 $Urch\_li$ は到達則入力を、 $Krch$ は到達則ゲインを、 $Uadp$ は適応則入力を、 $Kadp$ は適応則ゲインをそれぞれ表している。また、 $POLE\_f''$ は、 $-1 < POLE''\_f < 0$ の関係が成立するように設定される目標値フィルタ設定パラメータであり、 $POLE''$ は、 $-1 < POLE'' < 0$ が成立するように設定される切換関数設定パラメータである。さらに、 $a1''$ 、 $a2''$ 、 $b1''$ 、 $b2''$ は、バルブリフト $Liftin$ とリフト制御入力 $Uliftin$ との動特性を

定義したモデル(図示せず)のモデルパラメータを表している。

- [0122] 以上のように、アイドル回転数制御用の点火時期Ig\_logおよびリフト制御入力Uliftinを算出した後、本処理を終了する。それにより、点火時期Ig\_logに応じたタイミングで、点火プラグ13を介して点火時期制御が実行されるとともに、可変バルブリフト機構50を介して、リフト制御入力Uliftinに応じたバルブリフトLiftinになるように吸気弁4が駆動され、それにより、吸入空気量Gcylが制御される。
- [0123] 一方、ステップ2の判別結果がNOで、アイドル運転条件が不成立であるときには、ステップ12に進み、変速フラグF\_ATCHGが「1」であるか否かを判別する。この変速フラグF\_ATCHGは、図示しない自動変速機が変速中であるときには「1」に、それ以外のときには「0」にそれぞれ設定される。
- [0124] このステップ12の判別結果がYESで、自動変速機が変速中であるときには、ステップ13で、車速VP、変速比およびトルクコンバータ(図示せず)の滑り率に応じて、目標回転数NE\_cmdを算出する。次いで、前述したように、ステップ4～11を実行した後、本処理を終了する。
- [0125] 一方、ステップ12の判別結果がNOで、自動変速機が変速中でないときには、ステップ14に進み、目標回転数NE\_cmdおよびアクセル開度APに応じて、図24に示すマップを検索することにより、点火時期Ig\_logを算出する。同図において、AP1～AP3は、AP1<AP2<AP3の関係が成立する所定のアクセル開度APであり、この点は、以下の説明においても同様である。このマップでは、点火時期Ig\_logは、アクセル開度APが大きいほど、遅角側の値に設定されているとともに、AP=AP3の中回転域以外は、エンジン回転数NEが高いほど、遅角側の値に設定されている。これは、エンジン回転数NEまたはエンジン負荷が高いときには、ノッキングが発生しやすくなるので、それを回避すべく、点火時期Ig\_logをリタード側に制御する必要があることによる。
- [0126] 次いで、ステップ15で、目標回転数NE\_cmdおよびエンジン水温TWに応じて、図25に示すマップを検索することにより、目標バルブリフトLiftin\_cmdを算出する。このマップでは、目標バルブリフトLiftin\_cmdは、アクセル開度APが大きいほど、またエンジン回転数NEが高いほど、より大きな値に設定されている。これは、エンジ

ン回転数NEまたはエンジン負荷が高いときには、それに応じたエンジン出力を確保すべく、バルブリフトLiftinすなわち吸入空気量Gcylを大きな値に制御するためである。

[0127] 次に、前述したように、ステップ11でリフト制御入力Uliftinを算出した後、本処理を終了する。

[0128] 一方、ステップ1の判別結果がNOで、可変バルブリフト機構50が故障しているときには、ステップ16に進み、点火時期Ig\_logを故障時値Ig\_fsに設定する。この故障時値Ig\_fsは、エンジン回転数NEが所定の故障時目標回転数NE\_cmd\_fs(例えば1500rpm)となるように、所定のフィードバック制御アルゴリズムにより算出される。

[0129] 次いで、ステップ17で、リフト制御入力Uliftinを値0に設定した後、本処理を終了する。これにより、吸気弁4は、可変バルブリフト機構50により、バルブリフトLiftinが最小値Liftinminになるように駆動される。

[0130] 以上のように、本実施形態の制御装置1によれば、点火制御入力Usl\_igおよび吸気制御入力Usl\_arが、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより算出されるので、目標回転数NE\_cmdに対するエンジン回転数NEの追従応答性と、収束挙動および収束速度とを別個に設定することができる。それにより、目標回転数NE\_cmdに対するエンジン回転数NEの良好な追従応答性を確保できると同時に、エンジン回転数NEを、オーバーシュートおよび振動的な挙動を生じることなく、目標回転数NE\_cmdに収束させることができ、エンジン回転数NEの目標回転数NE\_cmdへの収束挙動を安定させることができる。

[0131] これに加えて、点火制御入力Usl\_igおよび吸気制御入力Usl\_arが、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにおいて、1つのフィルタリング値NE\_cmd\_fを共用しながら、算出されるので、アイドル回転数制御における点火時期制御処理および吸入空気量制御処理が互いに干渉し合うのを回避することができる。これに加えて、点火制御入力Usl\_igおよび吸気制御入力Usl\_arが、1つの切換関数 $\sigma_{ne}$ の値を共用しながら算出されるので、点火時期制御処理および吸入空気量制御処理が互いに干渉し合うのをさらに効果的に回避することができる。

- [0132] また、目標値フィルタ81において、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_\_fが、 $ADNE1 \leq ADNE \leq ADNE2$ の範囲では、偏差絶対値ADNEが大きいほど、より大きい値(より値0に近い値)に設定され、フィルタリング値NE\_\_cmd\_\_fに対する目標回転数NE\_\_cmdの反映度合いが高められるので、偏差絶対値ADNEが大きく、エンジン回転数NEの変動状態が大きいときには、それに対応して目標回転数NE\_\_cmdに対するエンジン回転数NEの追従応答性をより向上させることができる。
- [0133] さらに、点火制御入力Usl\_\_igの算出において、適応則入力Uadp\_\_igが、切換関数 $\sigma_{ne}$ の忘却積分処理により算出されるので、点火時期制御において、点火時期Ig\_\_logが過度のリタード状態に保持されることがなくなり、その結果、良好な燃焼状態を確保することができる。
- [0134] また、協調ゲインスケジューラ73による4つのゲインKrch\_\_ig, Kadp\_\_ig, Krch\_\_ar, Kadp\_\_arの設定により、切換関数 $\sigma_{ne}$ の絶対値が値0に近いとき、すなわち、前述したように、目標値フィルタ81により設定された、目標回転数NE\_\_cmdに対するエンジン回転数NEの追従挙動と実際の追従挙動との差が小さいとともに、切換関数 $\sigma$ により指定された追従誤差Eneの値0への収束挙動と実際の収束挙動との差が小さい状態にあるときには、アイドル回転数制御への点火時期制御の寄与度合いを高めると同時に、吸入空気量制御の寄与度合いを低くすることができ、それにより、アイドル回転数制御の分解能および制御精度を高めることができる。これとは逆に、切換関数 $\sigma_{ne}$ の絶対値が大きいとき、すなわち、目標値フィルタ81により設定された上記追従挙動と実際の追従挙動との差が大きいとともに、切換関数 $\sigma$ により指定された上記収束挙動と実際の収束挙動との差が大きい状態にあるときには、アイドル回転数制御の応答性を高めるべく、アイドル回転数制御への吸入空気量制御の寄与度合いを高めると同時に、点火時期制御の寄与度合いを低くすることができ、それにより、アイドル回転数制御の応答性を高めることができる。以上により、アイドル回転数制御の安定性および制御精度をいずれも向上させることができる。
- [0135] 次に、本発明の第2実施形態に係る制御装置1Aについて説明する。この制御装置1Aは、前述した第1実施形態の制御装置1と比べると、一部を除いて同様に構成されているので、以下、第1実施形態の制御装置1と異なる点を中心として説明する。



この制御装置1Aは、図26に示すように、アイドル回転数コントローラ100を備えており、このアイドル回転数コントローラ100(制御入力算出手段)は、具体的にはECU2により構成されている。

- [0136] このアイドル回転数コントローラ100では、以下に述べるように、協調型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、吸入空気量 $G_{cyl}$ および点火時期 $Ig\_log$ を互いに協調させながら制御するための点火制御入力 $Usl\_ig$ および吸気制御入力 $Usl\_ar$ が算出され、これらの制御入力 $Usl\_ig$ 、 $Usl\_ar$ を制御対象99に入力することにより、アイドル運転中、エンジン回転数 $NE$ が目標回転数 $NE\_cmd$ に収束するようにフィードバック制御される。なお、この制御対象99は、点火制御入力 $Usl\_ig$ および吸気制御入力 $Usl\_ar$ を入力とし、エンジン回転数 $NE$ を出力とする系として定義される。
- [0137] アイドル回転数コントローラ100は、目標値算出部101(目標値算出手段)、目標値追従応答設定部102(フィルタリング目標値算出手段)、協調ゲインスケジューラ103、点火時期コントローラ110および吸入空気量コントローラ120を備えている。この目標値算出部101および目標値追従応答設定部102はそれぞれ、前述した目標値算出部71および目標値追従応答設定部72と同様に構成されているので、その説明は省略する。
- [0138] また、協調ゲインスケジューラ103では、点火制御入力 $Usl\_ig$ の算出に用いる到達則ゲイン $Krch\_ig$ および後述する推定ゲイン $P\_ig$ と、吸気制御入力 $Usl\_ar$ の算出に用いる到達則ゲイン $Krch\_ar$ および後述する推定ゲイン $P\_ar$ とがそれぞれ設定される。この協調ゲインスケジューラ103の詳細に関しては、後述する。
- [0139] 次に、点火時期コントローラ110について説明する。この点火時期コントローラ110は、以下に述べるように、外乱補償機能付きの目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、点火制御入力 $Usl\_ig$ を算出するものであり、目標値フィルタ111、切換関数算出部112、点火制御入力算出部113および適応外乱オブザーバ114で構成されている。
- [0140] この目標値フィルタ111(フィルタリング目標値算出手段)では、前述した目標値フィルタ81と同様に、図27に示す式(22)により、目標回転数のフィルタリング値 $NE\_c$

md\_fが算出され、切換関数算出部112では、前述した切換関数算出部82と同様に、図27に示す式(23), (24)により、切換関数 $\sigma_{ne}$ が算出される。

[0141] また、点火制御入力算出部113では、等価制御入力 $U_{eq\_ig}$ が図27の式(25)により算出され、到達則入力 $U_{rch\_ig}$ が同図の式(26)により算出されるとともに、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ が同図の式(27)により算出される。式(25)において、 $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ は、後述するモデル[図28の式(37)]のモデルパラメータである。また、 $c1\_ig$ は、モデル化誤差および外乱を補償するための外乱推定値であり、以下に述べるように、適応外乱オブザーバ114により算出される。

[0142] すなわち、適応外乱オブザーバ114(外乱推定値算出手段)では、図27の式(28)により、エンジン回転数NEの同定値 $NE\_hat$ が算出され、式(29)により、追従誤差 $e\_dov\_ig$ が算出されるとともに、式(30)により、外乱推定値 $c1\_ig$ が算出される。同式(30)において、 $FGT\_dov$ は、忘却係数であり、 $0 < FGT\_dov < 1$ の範囲内の値に設定される。また、 $P\_ig$ は、推定ゲインであり、協調ゲインスケジューラ103により後述するように設定される。

[0143] 同式(30)に示すように、忘却係数 $FGT\_dov$ は、外乱推定値の前回値 $c1\_ig(k-1)$ に乘算されるので、同式(30)を漸化式により展開すると、 $n$ 回前の値 $c1\_ig(k-n)$ に対しては、 $FGT\_dov^n$ ( $\approx 0$ )が乗算されることになる。その結果、演算処理の進行に伴い、外乱推定値 $c1\_ig$ は、値0に収束するようになる。このように、外乱推定値 $c1\_ig$ を忘却処理により算出することで、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ が遅角補正側の値に保持されることがなくなり、その結果、点火時期制御において、点火時期 $Ig\_log$ が過度のリタード状態に保持されることがなくなり、良好な燃焼状態を確保することができる。なお、点火時期 $Ig\_log$ がリタード側に保持されてもよい場合には、一般的な適応外乱オブザーバのように、式(30)において、忘却係数 $FGT\_dov$ を値1に設定してもよい。

[0144] 点火時期コントローラ110では、以上のように、式(22)～(30)に示す外乱補償機能付きの目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ が算出される。なお、以上の式(22)～(30)は、エンジン回転数NEおよび点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ の動特性の関係を表すモデルを、エンジン回転数

NEおよび点火制御入力 $U_{sl\_ig}$ の動特性の関係を表すモデルを、図28の式(37)のように定義し、このモデルと、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御則および適応外乱オブザーバ理論とを用いることにより、導出される。

- [0145] 次に、前述した吸入空気量コントローラ120について説明する。この吸入空気量コントローラ120は、外乱補償機能付きの目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、吸気制御入力 $U_{sl\_ar}$ を算出するものであり、前述した目標値フィルタ111、前述した切換関数算出部112、吸気制御入力算出部123および適応外乱オブザーバ124で構成されている。
- [0146] この吸気制御入力算出部123では、等価制御入力 $U_{eq\_ar}$ が図28の式(31)により算出され、到達則入力 $U_{rch\_ar}$ が同図の式(32)により算出されるとともに、吸気制御入力 $U_{sl\_ar}$ が同図の式(33)により算出される。式(31)において、 $a1'$ ,  $a2'$ ,  $b1'$ ,  $b2'$ は、後述するモデル[図28の式(38)]のモデルパラメータである。また、 $c1\_ar$ は、モデル化誤差および外乱を補償するための外乱推定値であり、以下に述べるように、適応外乱オブザーバ124により算出される。
- [0147] すなわち、適応外乱オブザーバ124(外乱推定値算出手段)では、図28の式(34)により、エンジン回転数NEの同定値 $NE\_hat$ が算出され、式(35)により、追従誤差 $e\_dov\_ar$ が算出されるとともに、式(36)により、外乱推定値 $c1\_ar$ が算出される。同式(36)において、 $P\_ar$ は、推定ゲインであり、協調ゲインスケジューラ103により後述するように設定される。
- [0148] 吸入空気量コントローラ120では、以上のように、式(22)～(24), (31)～(36)に示す外乱補償機能付き目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、吸気制御入力 $U_{sl\_ar}$ が算出される。なお、以上の式(22)～(24), (31)～(36)は、エンジン回転数NEおよび吸気制御入力 $U_{sl\_ar}$ の動特性の関係を表すモデルを、図28の式(38)のように定義し、このモデルと、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御則および適応外乱オブザーバ理論とを用いることにより、導出される。
- [0149] 次に、前述した協調ゲインスケジューラ103について説明する。この協調ゲインスケジューラ103では、切換関数 $\sigma_{ne}$ の値に応じて、図29, 30に示すテーブルを検索

することにより、前述した4つのゲイン $Krch\_ig$ ,  $P\_ig$ ,  $Krch\_ar$ ,  $P\_ar$ がそれぞれ算出される。なお、両図29, 30における $\sigma 3$ ,  $\sigma 4$ は、 $\sigma 3 < \sigma 4$ の関係が成立する正の所定値である。

- [0150] まず、図29のテーブルを参照すると、このテーブルでは、到達則ゲイン $Krch\_ig$ および推定ゲイン $P\_ig$ の各々は、切換関数 $\sigma ne$ の正側および負側の値に対して対称に設定されており、 $-\sigma 4 < \sigma ne < -\sigma 3$ ,  $\sigma 3 < \sigma ne < \sigma 4$ の範囲では、 $\sigma ne$ の絶対値が小さくなるほど、より大きな値に設定されている。また、到達則ゲイン $Krch\_ig$ および推定ゲイン $P\_ig$ の各々は、値0付近の所定範囲( $-\sigma 3 \leq \sigma ne \leq \sigma 3$ )内では、その最大値 $Krch\_ig3$ ,  $P\_ig3$ を示すように設定されているとともに、 $\sigma ne \leq -\sigma 4$ ,  $\sigma 4 \leq \sigma ne$ の範囲では、その最小値 $Krch\_ig4$ ,  $P\_ig4$ を示すように設定されている。
- [0151] 一方、図30のテーブルを参照すると、このテーブルでは、到達則ゲイン $Krch\_ar$ および推定ゲイン $P\_ar$ の各々は、切換関数 $\sigma ne$ の正側および負側の値に対して対称に設定されているとともに、 $-\sigma 4 < \sigma ne < -\sigma 3$ ,  $\sigma 3 < \sigma ne < \sigma 4$ の範囲では、 $\sigma ne$ の絶対値が小さくなるほど、より小さな値に設定されている。また、到達則ゲイン $Krch\_ar$ および推定ゲイン $P\_ar$ の各々は、値0付近の所定範囲( $-\sigma 3 \leq \sigma ne \leq \sigma 3$ )内では、その最小値 $Krch\_ar3$ ,  $P\_ar3$ を示すように設定されているとともに、 $\sigma ne \leq -\sigma 4$ ,  $\sigma 4 \leq \sigma ne$ の範囲では、その最大値 $Krch\_ar4$ ,  $P\_ar4$ を示すように設定されている。
- [0152] 各ゲインの値が以上のように設定されている理由は、協調ゲインスケジューラ73の説明で述べた理由と同じである。すなわち、切換関数 $\sigma ne$ の絶対値が値0に近い場合、目標回転数 $NE\_cmd$ に対するエンジン回転数 $NE$ の乖離度合いが小さい状態にあるので、アイドル回転数制御の分解能および制御精度を高めるべく、アイドル回転数制御への点火時期制御の寄与度合いを高めると同時に、吸入空気量制御の寄与度合いを低くするためである。これとは逆に、切換関数 $\sigma ne$ の絶対値が大きい場合、追従誤差 $Ene$ の変化が大きく、目標回転数 $NE\_cmd$ に対するエンジン回転数 $NE$ の乖離度合いが大きい状態にあるので、アイドル回転数制御の応答性を高めるべく、アイドル回転数制御への吸入空気量制御の寄与度合いを高めると同時に、点

火時期制御の寄与度合いを低くするためである。

- [0153] 以上の理由により、本実施形態における点火時期および吸入空気量の協調制御の場合、図29、30にハッチングで示す領域が、点火時期制御がメインの領域となり、それ以外の領域は、吸入空気量制御がメインの領域となる。
- [0154] 以上のように構成された本実施形態の制御装置1Aによれば、前述した第1実施形態の制御装置1と同様の作用効果を得ることができる。また、協調ゲインスケジューラ103における到達則ゲイン $Krch\_ig$ 、 $Krch\_ar$ および推定ゲイン $P\_ig$ 、 $P\_ar$ の設定により、目標回転数 $NE\_cmd$ に対するエンジン回転数 $NE$ の乖離度合いが小さい状態のときには、アイドル回転数制御への点火時期制御の寄与度合いを高めると同時に、吸入空気量制御の寄与度合いを低くすることができ、それにより、アイドル回転数制御の分解能および制御精度を高めることができる。これとは逆に、目標回転数 $NE\_cmd$ に対するエンジン回転数 $NE$ の乖離度合いが大きい状態のときには、アイドル回転数制御の応答性を高めるべく、アイドル回転数制御への吸入空気量制御の寄与度合いを高めると同時に、点火時期制御の寄与度合いを低くすることができ、それにより、アイドル回転数制御の応答性を高めることができる。これに加えて、点火制御入力 $Usl\_ig$ および吸気制御入力 $Usl\_ar$ が、適応外乱オブザーバ114、124によりそれぞれ算出された外乱推定値 $c1\_ig$ 、 $c1\_ar$ を用いて算出されるので、モデル化誤差および外乱の影響を回避しながら、アイドル回転数制御を行うことができる。その結果、アイドル回転数制御の安定性および制御精度を、第1実施形態の制御装置1よりも向上させることができる。
- [0155] 次に、図31を参照しながら、本発明の第3実施形態に係る制御装置1Bについて説明する。この制御装置1Bは、EGR制御および過給圧制御の協調制御により、吸入空気量 $G_{cyl}$ (制御対象の出力)を制御するものであり、協調吸入空気量コントローラ200(制御入力算出手段)を備えている。この協調吸入空気量コントローラ200については、後述する。この制御装置1Bが適用されたエンジン3は、一部を除いて第1実施形態のエンジン3と同様に構成されているので、以下、同じ構成については同じ番号を付すとともに、その説明は省略する。このエンジン3は、ターボチャージャ装置15およびEGR制御弁16を備えている。

- [0156] ターボチャージャ装置15は、吸気管10の途中のコンプレッサハウジング内に收容されたコンプレッサブレード15aと、排気管14の途中のタービンハウジング内に收容されたタービンブレード15bと、2つのブレード15a, 15bを一体に連結する軸15cと、ウエストゲート弁15dなどを備えている。
- [0157] このターボチャージャ装置15では、排気管14内の排気ガスによってタービンブレード15bが回転駆動されると、これと一体のコンプレッサブレード15aも同時に回転することにより、吸気管10内の吸入空気が加圧される。すなわち、過給動作が実行される。
- [0158] また、上記ウエストゲート弁15dは、排気管14のタービンブレード15bをバイパスするバイパス排気通路14aを開閉するものであり、ECU2に接続された電磁制御弁で構成されている。このウエストゲート弁15dは、後述する最終過給圧制御入力 $U_{sl\_vt\_f}$ に応じた駆動信号がECU2から入力されると、その開度が変化し、それにより、バイパス排気通路14aを流れる排気ガスの流量、言い換えればタービンブレード15bを駆動する排気ガスの流量を変化させ、過給圧を変化させる。これにより、過給圧が制御される。
- [0159] また、EGR制御弁16は、吸気管10および排気管14の間に延びるEGR通路17を開閉することにより、排気ガスを排気管14から吸気管10側に還流するEGR動作を実行するものである。EGR制御弁16は、リニア電磁弁で構成され、ECU2に接続されており、後述する最終EGR制御入力 $U_{sl\_eg\_f}$ に応じた駆動信号がECU2から入力されると、そのバルブリフトがリニアに変化する。これにより、EGR量が制御される。
- [0160] 次に、図32を参照しながら、協調吸入空気量コントローラ200について説明する。この協調吸入空気量コントローラ200は、以下に述べるように、協調型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムに基づく制御アルゴリズムにより、EGR量および過給圧を互いに協調させながらフィードバック制御し、それにより、吸入空気量 $G_{cyl}$ を目標吸入空気量 $G_{cyl\_cmd}$ に収束するようにフィードバック制御するものである。
- [0161] 協調吸入空気量コントローラ200は、目標値算出部201(目標値算出手段)、目標値追従応答設定部202(フィルタリング目標値算出手段)、協調ゲインスケジューラ203、EGR基準値算出部204、加算要素205、過給圧基準値算出部206、加算要素

207、EGRコントローラ210および過給圧コントローラ220を備えている。

[0162] まず、目標値算出部201では、吸入空気量Gcylの目標値となる目標吸入空気量Gcyl\_cmdが算出される。具体的には、目標吸入空気量Gcyl\_cmdを、アクセル開度APおよびエンジン回転数NEに応じて、図33に示すマップを検索することにより算出する。このマップでは、目標吸入空気量Gcyl\_cmdは、エンジン回転数NEが高いほど、またはアクセル開度APが大きいほど、より大きな値に設定されている。これは、エンジン回転数NEが高いほど、またはアクセル開度APが大きいほど、エンジン3が高負荷域にあることで、より大きな吸入空気量が要求されることによる。なお、本実施形態では、アクセル開度APおよびエンジン回転数NEが制御対象の状態に相当する。

[0163] 次に、目標値追従応答設定部202では、前述した目標値追従応答設定部72と同様に、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_f\*が算出される。目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_f\*は、目標吸入空気量Gcyl\_cmdに対する吸入空気量Gcylの追従応答性を設定するためのものであり、具体的には、偏差絶対値ADGCYL(目標値の変化度合い)に応じて、図34に示すテーブルを検索することにより、算出される。この偏差絶対値ADGCYLは、目標吸入空気量の今回値Gcyl\_cmd(k)と前回値Gcyl\_cmd(k-1)との偏差の絶対値として算出される( $ADGCYL = |Gcyl\_cmd(k) - Gcyl\_cmd(k-1)|$ )。また、同図のADGCYL1, ADGCYL2は、 $ADGCYL1 < ADGCYL2$ の関係が成立する所定値であり、POLE\_f1\*, POLE\_f2\*は、 $POLE\_f1* < POLE\_f2*$ の関係が成立する所定値である。

[0164] 同図に示すように、このテーブルでは、 $ADGCYL1 \leq ADGCYL \leq ADGCYL2$ の範囲では、偏差絶対値ADGCYLが大きいほど、より大きい値(より値0に近い値)に設定されている。これは、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_f\*は、目標値フィルタ211でのフィルタリング値Gcyl\_cmd\_fの算出において、目標吸入空気量Gcyl\_cmdに対する吸入空気量Gcylの追従応答性を設定するように用いられるので、偏差絶対値ADGCYLが大きく、吸入空気量Gcylの変動状態が大きいときには、それに対応すべく、フィルタリング値Gcyl\_cmd\_fに対する目標吸入空気量Gcyl\_cmdの反映度合いを高めることで、目標吸入空気量Gcyl\_cmdに対する吸入空気量

Gcylの追従応答性をより向上させるためである。

- [0165] また、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_\_f\*は、 $ADGCYL < ADGCYL1$ ,  $ADGCYL2 < ADGCYL$ の範囲では、偏差絶対値ADGCYLの値にかかわらず、一定値POLE\_\_f1\*, POLE\_\_f2\*にそれぞれ設定されている。これは、吸入空気量Gcylの変動状態がかなり小さい場合またはかなり大きい場合、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_\_fの設定により、目標吸入空気量Gcyl\_cmdに対する吸入空気量Gcylの追従応答性を向上させるのに限界があることによる。
- [0166] さらに、協調ゲインスケジューラ203では、前述した協調ゲインスケジューラ73と同様に、EGR制御入力Usl\_\_egの算出に用いる到達則ゲインKrch\_\_egおよび適応則ゲインKadp\_\_egと、過給圧制御入力Usl\_\_vtの算出に用いる到達則ゲインKrch\_\_vtおよび適応則ゲインKadp\_\_vtとが、それぞれ算出される。具体的には、4つのゲインKrch\_\_eg, Kadp\_\_eg, Krch\_\_vt, Kadp\_\_vtはそれぞれ、後述する切換関数 $\sigma_{gcyl}$ の値に応じて、図35, 36に示すテーブルを検索することにより算出される。なお、両図35, 36における $\sigma_{g1}$ ,  $\sigma_{g2}$ は、 $\sigma_{g1} < \sigma_{g2}$ の関係が成立する正の所定値である。
- [0167] まず、図35のテーブルを参照すると、このテーブルでは、到達則ゲインKrch\_\_egおよび適応則ゲインKadp\_\_egはそれぞれ、切換関数 $\sigma_{gcyl}$ の正側および負側の値に対して対称に設定されており、値0付近の $-\sigma_{g1} < \sigma_{gcyl} < \sigma_{g1}$ の範囲では、所定の最大値Krch\_\_eg1, Kadp\_\_eg1を示すように設定されているとともに、 $\sigma_{gcyl} < -\sigma_{g2}$ ,  $\sigma_{g2} < \sigma_{gcyl}$ の範囲では、所定の最小値Krch\_\_eg2, Kadp\_\_eg2を示すように設定されている。また、 $-\sigma_{g2} \leq \sigma_{gcyl} \leq -\sigma_{g1}$ ,  $\sigma_{g1} \leq \sigma_{gcyl} \leq \sigma_{g2}$ の範囲では、 $\sigma_{gcyl}$ の絶対値が小さくなるほど、より大きな値に設定されている。
- [0168] 一方、図36のテーブルを参照すると、このテーブルでは、到達則ゲインKrch\_\_vtおよび適応則ゲインKadp\_\_vtはそれぞれ、切換関数 $\sigma_{gcyl}$ の正側および負側の値に対して対称に設定されており、値0付近の $-\sigma_{g1} < \sigma_{gcyl} < \sigma_{g1}$ の範囲では、所定の最小値Krch\_\_vt1, Kadp\_\_vt1を示すように設定されているとともに、 $\sigma_{gcyl} < -\sigma_{g2}$ ,  $\sigma_{g2} < \sigma_{gcyl}$ の範囲では、所定の最大値Krch\_\_vt2, Kadp\_\_vt2を示すように設定されている。また、 $-\sigma_{g2} \leq \sigma_{gcyl} \leq -\sigma_{g1}$ ,  $\sigma_{g1} \leq \sigma_{gcyl} \leq \sigma_{g2}$



の範囲では、 $\sigma_{gcyl}$ の絶対値が小さくなるほど、より小さな値に設定されている。

- [0169] 4つのゲイン $K_{rch\_eg}$ ,  $K_{adp\_eg}$ ,  $K_{rch\_vt}$ ,  $K_{adp\_vt}$ の値が以上のように設定されている理由は、以下による。すなわち、EGR制御は、制御の分解能が高い(最小のEGR制御入力 $U_{sl\_eg}$ に対する吸入空気量 $G_{cyl}$ の変化度合いが小さい)ものの、エンジン3の燃焼状態の悪化を回避する観点から、制御幅が限定されてしまうという特徴を備えている。一方、過給圧制御は、制御の分解能がEGR制御と比べて低く、目標吸入空気量 $G_{cyl\_cmd}$ の大きな変化に対しても対応できる反面、EGR制御と比べて、吸入空気量 $G_{cyl}$ の制御精度が低いので、吸入空気量 $G_{cyl}$ の目標吸入空気量 $G_{cyl\_cmd}$ への収束性が悪いという特徴を備えている。
- [0170] したがって、切換関数 $\sigma_{gcyl}$ の絶対値が値0に近い場合、目標吸入空気量 $G_{cyl\_cmd}$ に対する吸入空気量 $G_{cyl}$ の乖離度合いが小さい状態にあるので、吸入空気量制御の分解能および制御精度を高めるべく、吸入空気量制御へのEGR制御の寄与度合いを高めると同時に、過給圧制御の寄与度合いを低くするためである。これとは逆に、切換関数 $\sigma_{gcyl}$ の絶対値が大きい場合、追従誤差 $E_{gcyl}$ の変化が大きく、目標吸入空気量 $G_{cyl\_cmd}$ に対する吸入空気量 $G_{cyl}$ の乖離度合いが大きい状態にあるので、吸入空気量制御の応答性を高めるべく、吸入空気量制御への過給圧制御の寄与度合いを高めると同時に、EGR制御の寄与度合いを低くするためである。
- [0171] 以上の理由により、本実施形態の協調吸入空気量コントローラ200におけるEGR制御および吸入空気量制御の協調制御の場合、図35, 36にハッチングで示す領域が、EGR制御がメインの領域となり、それ以外の領域は、過給圧制御がメインの領域となる。
- [0172] 次に、前述したEGRコントローラ210について説明する。このEGRコントローラ210は、以下に述べるように、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、EGR制御入力 $U_{sl\_eg}$ を算出するものであり、目標値フィルタ211、切換関数算出部212、等価制御入力算出部213、到達則入力算出部214、適応則入力算出部215および加算要素216で構成されている。
- [0173] この目標値フィルタ211(フィルタリング目標値算出手段)では、前述した目標値フィルタ81と同様に、目標値算出部201で算出された目標吸入空気量 $G_{cyl\_cmd}$ 、お

よび目標値追従応答設定部202で設定された目標値フィルタ設定パラメータ $POLE\_f^*$ を用い、図37の式(39)に示す一次遅れフィルタアルゴリズムにより、目標吸入空気量のフィルタリング値 $Gcyl\_cmd\_f$ (フィルタリング目標値)が算出される。

- [0174] また、切換関数算出部212では、前述した切換関数算出部82と同様に、図37の式(40)、(41)により、切換関数 $\sigma_{gcyl}$ (線形関数)が算出される。同式(40)において、 $POLE^*$ は、切換関数設定パラメータであり、 $-1 < POLE^* < 0$ の範囲内の値に設定される。また、 $E_{gcyl}$ は、式(41)に示すように定義される追従誤差である。
- [0175] さらに、等価制御入力算出部213では、吸入空気量 $Gcyl$ 、フィルタリング値 $Gcyl\_cmd\_f$ および切換関数設定パラメータ $POLE^*$ に基づき、図37の式(42)により、等価制御入力 $U_{eq\_eg}$ が算出される。同式(42)において、 $a1^*$ 、 $a2^*$ 、 $b1^*$ 、 $b2^*$ は、後述するモデル[図38の式(53)]のモデルパラメータである。
- [0176] 一方、到達則入力算出部214では、協調ゲインスケジューラ203で設定された到達則ゲイン $K_{rch\_eg}$ を用い、図37の式(43)により、到達則入力 $U_{rch\_eg}$ が算出される。
- [0177] また、適応則入力算出部215では、図37の式(44)に示す忘却積分処理により、切換関数の忘却積分値 $sum\_ \sigma_{gcyl}$ (線形関数の積分値)が算出され、さらに、この忘却積分値 $sum\_ \sigma_{gcyl}$ および協調ゲインスケジューラ203で設定された適応則ゲイン $K_{adp\_eg}$ を用い、式(45)により、適応則入力 $U_{adp\_eg}$ が算出される。同式(44)において、 $FGT\_eg$ は、忘却係数であり、 $0 < FGT\_eg < 1$ の範囲内の値に設定される。
- [0178] 以上の忘却積分処理により、前述したように、演算処理の進行に伴い、切換関数の忘却積分値 $sum\_ \sigma_{gcyl}$ が値0に収束するようになり、適応則入力 $U_{adp\_eg}$ も値0に収束するようになる。このように、適応則入力 $U_{adp\_eg}$ の算出において、忘却積分処理を用いる理由は、EGR量は、NO<sub>x</sub>の排出量低減および燃費向上の観点から、エンジン3の運転領域に応じた適切な値に可能な限り高精度で制御することが望ましいので、EGR量が適切な値から長時間外れる状態が発生するのを回避し、適切な値に迅速に制御するためである。なお、EGR量が一定値に保持されてもよい場合には、一般的なスライディングモード制御アルゴリズムのように、式(44)において、忘却

係数FGT\_\_egを値1に設定し、適応則入力Uadp\_\_egを、切換関数 $\sigma_{gcyl}$ の一般的な積分値に基づいて算出してもよい。

[0179] さらに、加算要素216では、以上のように算出された等価制御入力Ueq\_\_eg、到達則入力Urch\_\_egおよび適応則入力Uadp\_\_egを用い、図37の式(46)により、EGR制御入力Usl\_\_egが算出される。

[0180] 以上のように、EGR制御入力Usl\_\_egは、式(39)～(46)の目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、算出される。なお、以上の式(39)～(46)は、吸入空気量GcylおよびEGR制御入力Usl\_\_egの動特性の関係を表すモデルを、図38の式(53)のように定義し、吸入空気量Gcylが目標吸入空気量Gcyl\_\_cmdに収束するように、このモデルと目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御則とを用いることにより、導出される。

[0181] 一方、前述したEGR基準値算出部204では、エンジン回転数NEおよび目標吸入空気量Gcyl\_\_cmdに応じて、図39に示すマップを検索することにより、EGR基準値Usl\_\_eg\_\_bsを算出する。同図に示すように、このマップでは、EGR基準値Usl\_\_eg\_\_bsは、エンジン回転数NEが高いほど、より大きな値に設定されている。また、EGR基準値Usl\_\_eg\_\_bsは、目標吸入空気量Gcyl\_\_cmdが所定値Gcyl\_\_cmd1以下の範囲では、目標吸入空気量Gcyl\_\_cmdが大きいほど、より大きな値に設定され、所定値Gcyl\_\_cmd1より大きい範囲では、目標吸入空気量Gcyl\_\_cmdが大きいほど、より小さな値に設定されている。

[0182] このようにEGR基準値Usl\_\_eg\_\_bsが設定される理由は、エンジン3の低負荷域では、燃焼状態が不安定になるのを回避すべく、EGR量を小さな値に制御し、高負荷域では、エンジン出力を確保すべく、EGR量を小さな値に制御するためであり、また、中負荷域では、NO<sub>x</sub>の排出量低減および燃費向上の観点から、EGR量を大きな値に制御するためである。

[0183] さらに、前述した加算要素205では、以上のように算出されたEGR制御入力Usl\_\_egおよびEGR基準値Usl\_\_eg\_\_bsを用い、図37の式(47)により、最終EGR制御入力Usl\_\_eg\_\_fが算出される。

[0184] 次に、前述した過給圧コントローラ220について説明する。この過給圧コントローラ

220は、以下に述べるように、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、過給圧制御入力 $U_{sl\_vt}$ を算出するものであり、前述した目標値フィルタ211、前述した切換関数算出部212、等価制御入力算出部223、到達則入力算出部224、適応則入力算出部225および加算要素226で構成されている。すなわち、この過給圧コントローラ220では、目標値フィルタ211および切換関数算出部212をEGRコントローラ210と共用することにより、目標吸入空気量のフィルタリング値 $G_{cyl\_cmd\_f}$ および切換関数 $\sigma_{gcyl}$ を共用しながら、過給圧制御入力 $U_{sl\_vt}$ が算出される。

- [0185] また、等価制御入力算出部223では、吸入空気量 $G_{cyl}$ 、フィルタリング値 $G_{cyl\_cmd\_f}$ および切換関数設定パラメータ $POLE^*$ を用い、図38の式(48)により、等価制御入力 $U_{eq\_vt}$ が算出される。同式(48)において、 $a1\#$ 、 $a2\#$ 、 $b1\#$ 、 $b2\#$ は、後述するモデル[図38の式(54)]のモデルパラメータである。
- [0186] 一方、到達則入力算出部224では、協調ゲインスケジューラ203で設定された到達則ゲイン $K_{rch\_vt}$ を用い、図38の式(49)により、到達則入力 $U_{rch\_vt}$ が算出される。
- [0187] また、適応則入力算出部225では、協調ゲインスケジューラ203で設定された適応則ゲイン $K_{adp\_vt}$ を用い、図38の式(50)により、適応則入力 $U_{adp\_vt}$ が算出される。
- [0188] さらに、加算要素226では、以上のように算出された等価制御入力 $U_{eq\_vt}$ 、到達則入力 $U_{rch\_vt}$ および適応則入力 $U_{adp\_vt}$ を用い、図38の式(51)により、過給圧制御入力 $U_{sl\_vt}$ が算出される。
- [0189] 過給圧コントローラ220では、以上のように、式(39)～(41)、(48)～(51)に示す目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、過給圧制御入力 $U_{sl\_vt}$ が算出される。なお、以上の式(39)～(41)、(48)～(51)は、吸入空気量 $G_{cyl}$ および過給圧制御入力 $U_{sl\_vt}$ の動特性の関係を表すモデルを、図38の式(54)のように定義し、吸入空気量 $G_{cyl}$ が目標吸入空気量 $G_{cyl\_cmd}$ に収束するように、このモデルと目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御則とを用いることにより、導出される。

- [0190] 一方、前述した過給圧基準値算出部206では、エンジン回転数NEおよび目標吸入空気量Gcyl\_cmdに応じて、図40に示すマップを検索することにより、過給圧基準値Usl\_vt\_bsを算出する。同図に示すように、このマップでは、過給圧基準値Usl\_vt\_bsは、エンジン回転数NEが高いほど、より大きな値に設定されている。また、過給圧基準値Usl\_vt\_bsは、目標吸入空気量Gcyl\_cmdが所定値Gcyl\_cmd1以下の範囲では、目標吸入空気量Gcyl\_cmdが大きいほど、より大きな値に設定され、所定値Gcyl\_cmd1より大きい範囲では、目標吸入空気量Gcyl\_cmdが大きいほど、より小さな値に設定されている。
- [0191] このように過給圧基準値Usl\_vt\_bsが設定される理由は、エンジン3の低負荷域では、過給圧の不要な上昇によりトルク変動が発生するのを回避すべく、過給圧を小さな値に制御し、高負荷域では、過給圧の過度の上昇によりエンジン出力が大きくなり過ぎるのを回避すべく、過給圧を小さな値に制御するためであり、また、中負荷域では、エンジン出力確保の観点から、過給圧を大きな値に制御するためである。
- [0192] さらに、前述した加算要素207では、以上のように算出された過給圧制御入力Usl\_vtおよび過給圧基準値Usl\_vt\_bsを用い、図38の式(52)により、最終過給圧制御入力Usl\_vt\_fが算出される。
- [0193] 以上のように、本実施形態の制御装置1Bによれば、EGR制御入力Usl\_egおよび過給圧制御入力Usl\_vtが、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより算出されるので、目標吸入空気量Gcyl\_cmdに対する吸入空気量Gcylの追従応答性と、収束挙動および収束速度とを別個に設定することができる。それにより、目標吸入空気量Gcyl\_cmdに対する吸入空気量Gcylの良好な追従応答性を確保できると同時に、吸入空気量Gcylを、オーバーシュートおよび振動的な挙動を生じることなく、目標吸入空気量Gcyl\_cmdに収束させることができ、吸入空気量Gcylの目標吸入空気量Gcyl\_cmdへの収束挙動を安定させることができる。
- [0194] これに加えて、EGR制御入力Usl\_egおよび過給圧制御入力Usl\_vtが、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにおいて、1つのフィルタリング値Gcyl\_cmd\_fを共用しながら、算出されるので、吸入空気量制御におけるE

GR制御処理および過給圧制御処理が互いに干渉し合うのを回避することができる。これに加えて、EGR制御入力Usl\_\_egおよび過給圧制御入力Usl\_\_vtが、1つの切換関数  $\sigma_{gcyl}$  の値を共用しながら算出されるので、EGR制御処理および過給圧制御処理が互いに干渉し合うのをさらに効果的に回避することができる。

- [0195] また、目標値フィルタ211において、目標値フィルタ設定パラメータPOLE\_\_f\*は、 $ADGCYL1 \leq ADGCYL \leq ADGCYL2$  の範囲では、偏差絶対値ADGCYLが大きいほど、より大きい値(より値0に近い値)に設定され、フィルタリング値Gcyl\_\_cmd\_\_fに対する目標吸入空気量Gcyl\_\_cmdの反映度合いが高められるので、偏差絶対値ADGCYLが大きく、吸入空気量Gcylの変動状態が大きいときには、それに対応して目標吸入空気量Gcyl\_\_cmdに対する吸入空気量Gcylの追従応答性をより向上させることができる。
- [0196] さらに、EGR制御入力Usl\_\_egの算出において、適応則入力Uadp\_\_egが、切換関数  $\sigma_{gcyl}$  の忘却積分処理により算出されるので、EGR制御において、EGR量が不適切な値に保持されることがなくなり、その結果、良好な燃焼状態を確保することができる。
- [0197] また、協調ゲインスケジューラ203による4つのゲインKrch\_\_eg, Kadp\_\_eg, Krch\_\_vt, Kadp\_\_vtの設定により、目標吸入空気量Gcyl\_\_cmdに対する吸入空気量Gcylの乖離度合いが小さい状態のときには、吸入空気量制御へのEGR制御の寄与度合いを高めると同時に、過給圧制御の寄与度合いを低くすることができ、それにより、吸入空気量制御の分解能および制御精度を高めることができる。これとは逆に、目標吸入空気量Gcyl\_\_cmdに対する吸入空気量Gcylの乖離度合いが大きい状態のときには、吸入空気量制御の応答性を高めるべく、吸入空気量制御への過給圧制御の寄与度合いを高めると同時に、EGR制御の寄与度合いを低くすることができ、それにより、吸入空気量制御の応答性を高めることができる。以上により、吸入空気量制御の安定性および制御精度をいずれも向上させることができる。
- [0198] なお、前述した各実施形態は、応答指定型制御アルゴリズムとしてスライディングモード制御アルゴリズムを用いた例であるが、応答指定型制御アルゴリズムはこれに限らず、バックステッピング制御アルゴリズムなどの、目標値に対する制御対象の出力

の収束挙動および収束速度を指定できる応答指定型制御アルゴリズムであればよい。

[0199] また、各実施形態は、フィードバック制御アルゴリズムとしてスライディングモード制御アルゴリズムを用いた例であるが、フィードバック制御アルゴリズムはこれに限らず、PID制御アルゴリズムおよびPI制御アルゴリズムなどのフィードバック制御アルゴリズムであればよい。

[0200] さらに、各実施形態は、本発明の制御装置を内燃機関のアイドル回転数制御または吸入空気量制御を行うものに適用した例であるが、本発明の制御装置はこれに限らず、複数の制御入力により制御対象の出力を制御するものに適用可能である。

#### 産業上の利用の可能性

[0201] 本発明の制御装置は、内燃機関のアイドル回転数制御または吸入空気量制御等の、複数の制御入力による制御対象の出力のフィードバック制御に適用して、制御対象の出力を、オーバーシュートおよび振動的な挙動等を生じることなく、目標値に収束させることができ、制御対象の出力の目標値への収束挙動を安定させることができるとともに、複数の制御入力による複数のフィードバック制御処理が互いに干渉し合うのを回避することができる。したがって、制御の安定性および制御精度をいずれも向上させることができるので、様々の産業分野で用いられるこの種の制御装置として有用である。

### 請求の範囲

- [1] 複数の制御入力により制御対象の出力を制御する制御装置であって、  
当該制御対象の状態に応じて、前記制御対象の出力の目標となる目標値を算出する目標値算出手段と、  
当該算出された目標値に所定のフィルタリング処理を施すことにより、前記目標値に対する前記制御対象の出力の追従応答性を設定するための1つのフィルタリング目標値を算出するフィルタリング目標値算出手段と、  
前記複数の制御入力をそれぞれ、前記制御対象の出力が前記算出された1つのフィルタリング目標値に収束するように、所定の複数のフィードバック制御アルゴリズムに基づいて算出する制御入力算出手段と、  
を備えることを特徴とする制御装置。
- [2] 前記フィルタリング目標値算出手段は、前記1つのフィルタリング目標値を、前記目標値の変化度合いが大きいほど、前記目標値に対する前記制御対象の出力の追従応答性がより高くなるように算出することを特徴とする請求項1に記載の制御装置。
- [3] 前記所定の複数のフィードバック制御アルゴリズムはそれぞれ、所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムで構成され、  
前記制御入力算出手段は、前記複数の制御入力を、当該所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムにおいて、前記1つのフィルタリング目標値に対する前記制御対象の出力の収束挙動および収束速度を規定する1つの線形関数を共用しながら、算出することを特徴とする請求項1に記載の制御装置。
- [4] 前記制御対象の出力は、内燃機関の回転数であり、  
前記複数の制御入力は、前記内燃機関の吸入空気量を制御するための制御入力、および前記内燃機関の点火時期を制御するための制御入力で構成されていることを特徴とする請求項1に記載の制御装置。
- [5] 前記制御対象の出力は、内燃機関の吸入空気量であり、  
前記複数の制御入力は、前記内燃機関の過給圧を制御するための制御入力、および前記内燃機関のEGR量を制御するための制御入力で構成されていることを特徴とする請求項1に記載の制御装置。



- [6] 前記制御入力算出手段は、前記複数の制御入力の各々の算出に用いるゲインを、前記1つの線形関数の値に応じて設定することを特徴とする請求項3に記載の制御装置。
- [7] 前記制御入力算出手段は、前記複数の制御入力の少なくとも1つを、前記1つの線形関数の積分値に応じて、当該1つの線形関数の積分値に忘却処理を施しながら、算出することを特徴とする請求項3に記載の制御装置。
- [8] 前記制御対象が受ける外乱およびモデル化誤差を補償するための複数の外乱推定値の各々を、当該各外乱推定値と前記複数の制御入力の各々と前記制御対象の出力との関係を定義したモデルに基づく所定の推定アルゴリズムにより、算出する外乱推定値算出手段をさらに備え、  
 当該所定の推定アルゴリズムでは、前記1つの線形関数の値に応じて、前記各外乱推定値の推定ゲインが設定され、  
 前記制御入力算出手段は、前記各制御入力を前記各外乱推定値に応じて算出することを特徴とする請求項3に記載の制御装置。
- [9] 前記制御対象が受ける外乱およびモデル化誤差を補償するための複数の外乱推定値の各々を、当該各外乱推定値と前記複数の制御入力の各々と前記制御対象の出力との関係を定義したモデルに基づく所定の推定アルゴリズムにより、算出する外乱推定値算出手段をさらに備え、  
 当該所定の推定アルゴリズムでは、前記複数の外乱推定値の少なくとも1つに所定の忘却処理が施され、  
 前記制御入力算出手段は、前記各制御入力を前記各外乱推定値に応じて算出することを特徴とする請求項3に記載の制御装置。
- [10] 複数の制御入力により制御対象の出力を制御する制御装置であって、  
 当該制御対象の状態に応じて、前記制御対象の出力の目標となる目標値を算出する目標値算出手段と、  
 前記複数の制御入力をそれぞれ、前記制御対象の出力が前記算出された目標値に収束するように、所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムに基づき、当該所定の複数の応答指定型制御アルゴリズムにおいて、前記目標値に対する前記制御対

象の出力の収束挙動および収束速度を規定する1つの線形関数を共用しながら、算出する制御入力算出手段と、

を備えることを特徴とする制御装置。

[11] 前記制御入力算出手段は、前記複数の制御入力の各々の算出に用いるゲインを、前記1つの線形関数の値に応じて設定することを特徴とする請求項10に記載の制御装置。

[12] 前記制御入力算出手段は、前記複数の制御入力の少なくとも1つを、前記1つの線形関数の積分値に応じて、当該1つの線形関数の積分値に忘却処理を施しながら、算出することを特徴とする請求項10に記載の制御装置。

[13] 前記制御対象が受ける外乱およびモデル化誤差を補償するための複数の外乱推定値の各々を、当該各外乱推定値と前記複数の制御入力の各々と前記制御対象の出力との関係を定義したモデルに基づく所定の推定アルゴリズムにより、算出する外乱推定値算出手段をさらに備え、

当該所定の推定アルゴリズムでは、前記1つの線形関数の値に応じて、前記各外乱推定値の推定ゲインが設定され、

前記制御入力算出手段は、前記各制御入力を前記各外乱推定値に応じて算出することを特徴とする請求項10に記載の制御装置。

[14] 前記制御対象が受ける外乱およびモデル化誤差を補償するための複数の外乱推定値の各々を、当該各外乱推定値と前記複数の制御入力の各々と前記制御対象の出力との関係を定義したモデルに基づく所定の推定アルゴリズムにより、算出する外乱推定値算出手段をさらに備え、

当該所定の推定アルゴリズムでは、前記複数の外乱推定値の少なくとも1つに所定の忘却処理が施され、

前記制御入力算出手段は、前記各制御入力を前記各外乱推定値に応じて算出することを特徴とする請求項10に記載の制御装置。

[15] 前記制御対象の出力は、内燃機関の回転数であり、

前記複数の制御入力は、前記内燃機関の吸入空気量を制御するための制御入力、および前記内燃機関の点火時期を制御するための制御入力で構成されていること

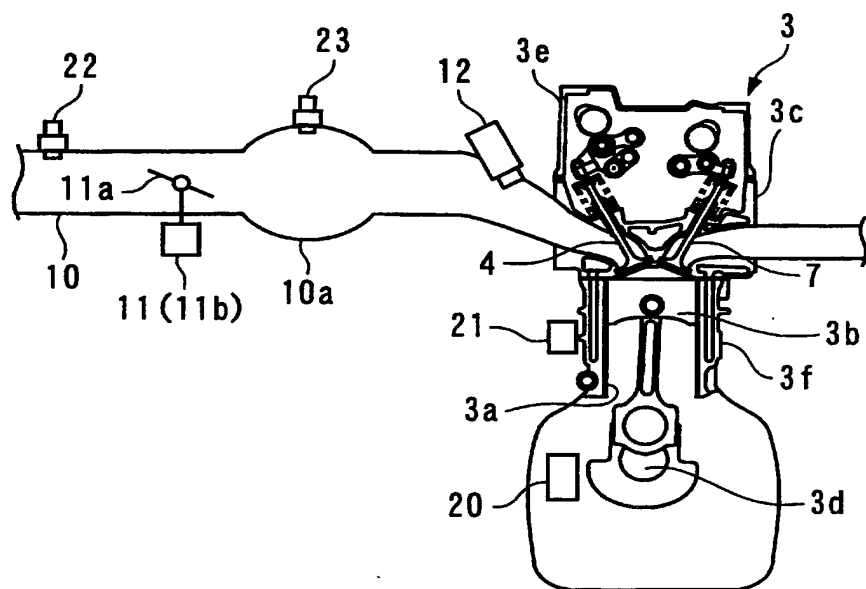
を特徴とする請求項10記載の制御装置。

- [16] 前記制御対象の出力は、内燃機関の吸入空気量であり、  
前記複数の制御入力、前記内燃機関の過給圧を制御するための制御入力、および前記内燃機関のEGR量を制御するための制御入力で構成されていることを特徴とする請求項10に記載の制御装置。

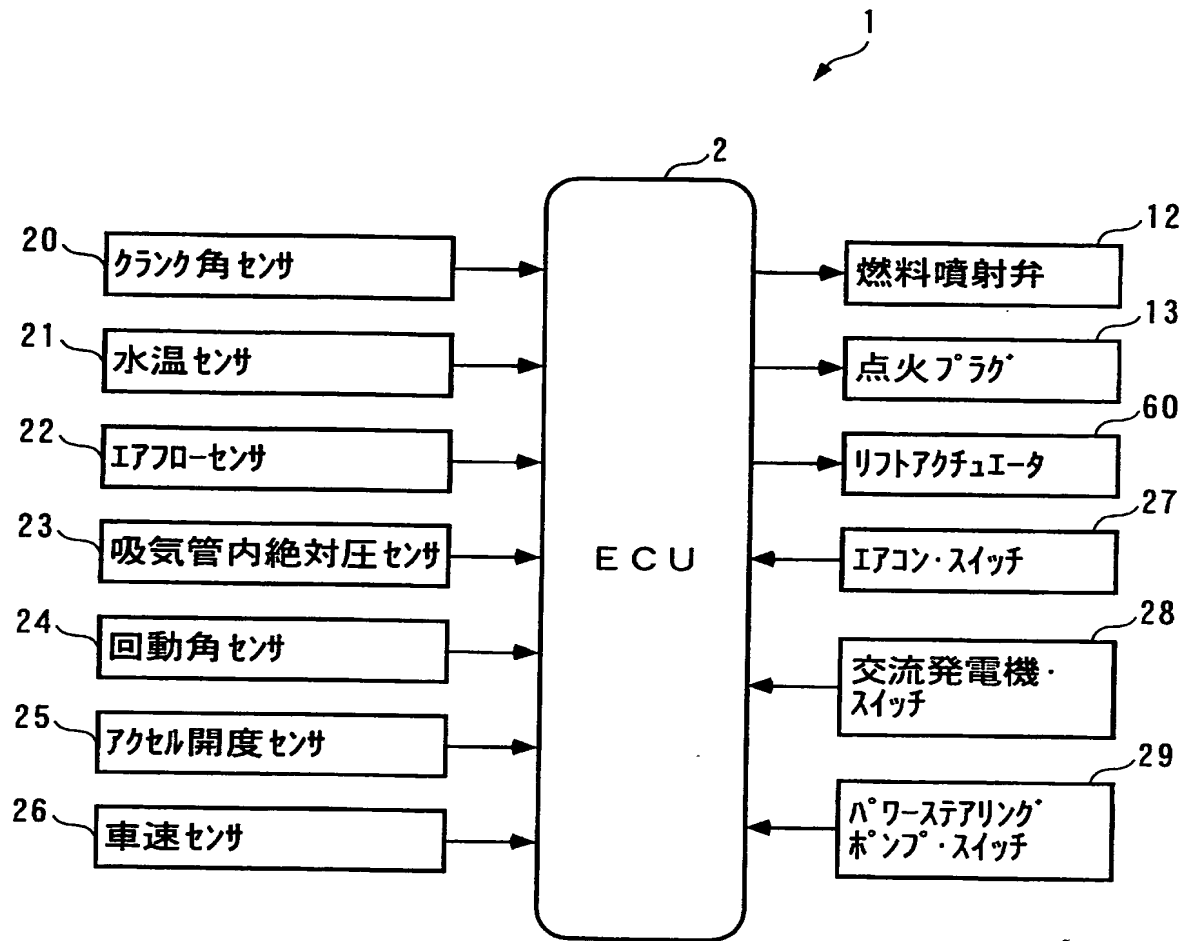
## 要 約 書

複数の制御入力により制御対象の出力をフィードバック制御する場合において、制御の安定性および制御精度をいずれも向上させることができる制御装置。制御装置1のECU2は、点火制御入力Usl\_\_igおよび吸気制御入力Usl\_\_arにより、アイドル運転中のエンジン回転数NEを制御するものであり、エンジン水温TWなどに応じて、目標回転数NE\_\_cmdを算出し(ステップ3)、点火制御入力Usl\_\_igおよび吸気制御入力Usl\_\_arをそれぞれ、エンジン回転数NEが目標回転数NE\_\_cmdに収束するように、1つの切換関数 $\sigma_{ne}$ を互いに共用する、所定の複数の目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズム[式(1)～(12)]により算出する(ステップ4～7, 9)。

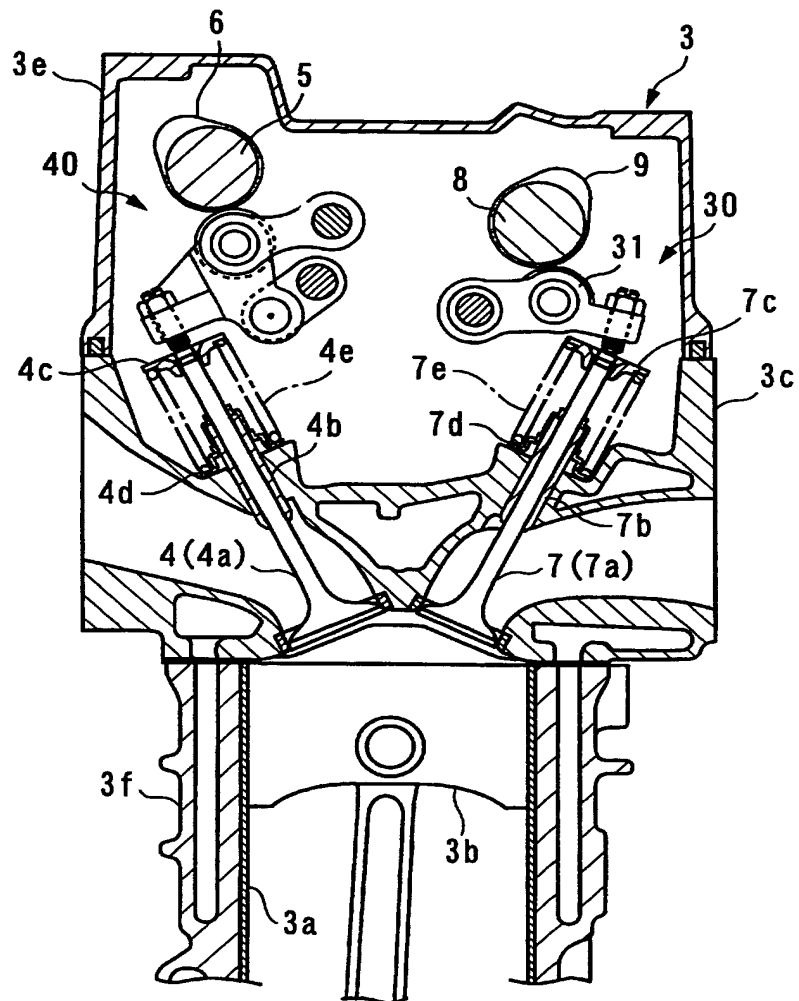
[図1]



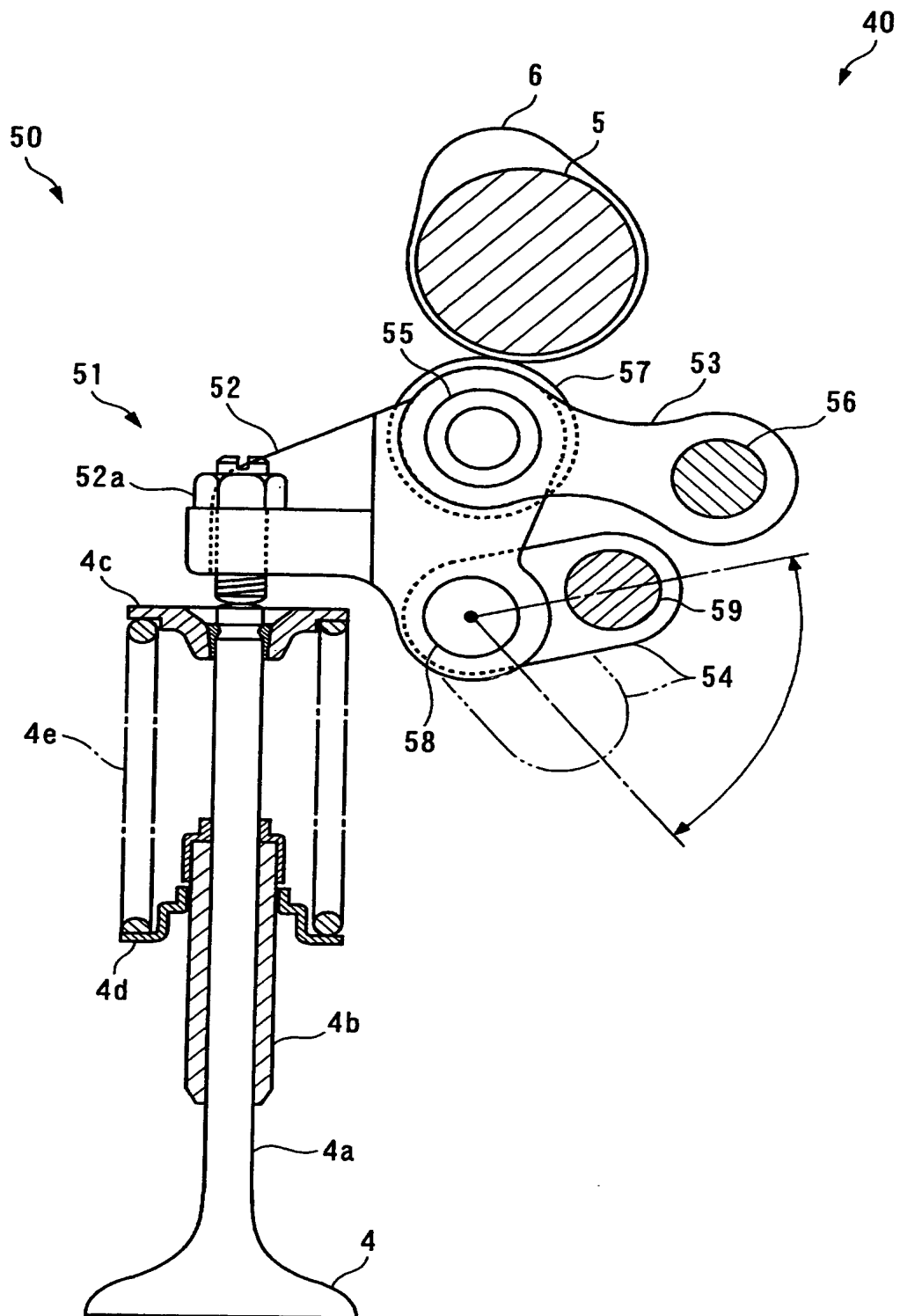
[図2]



[図3]

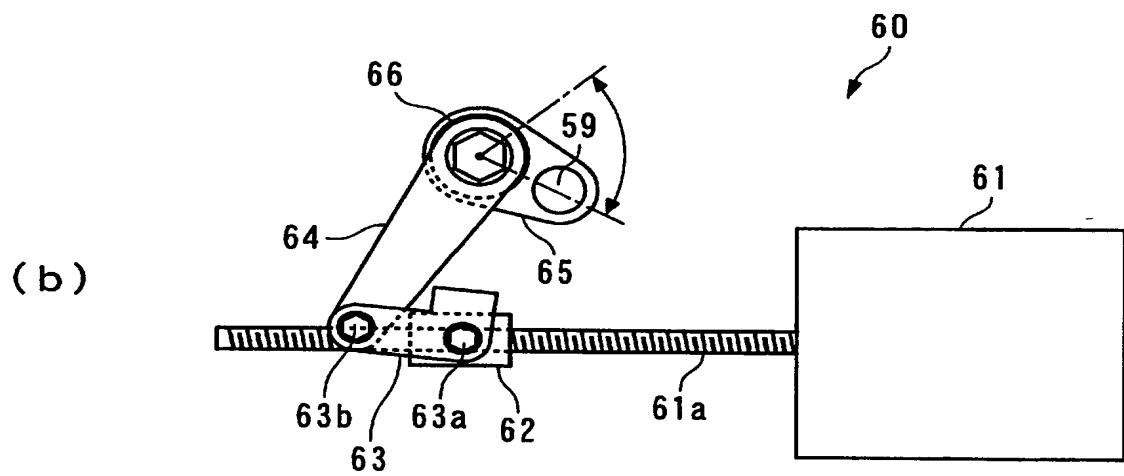
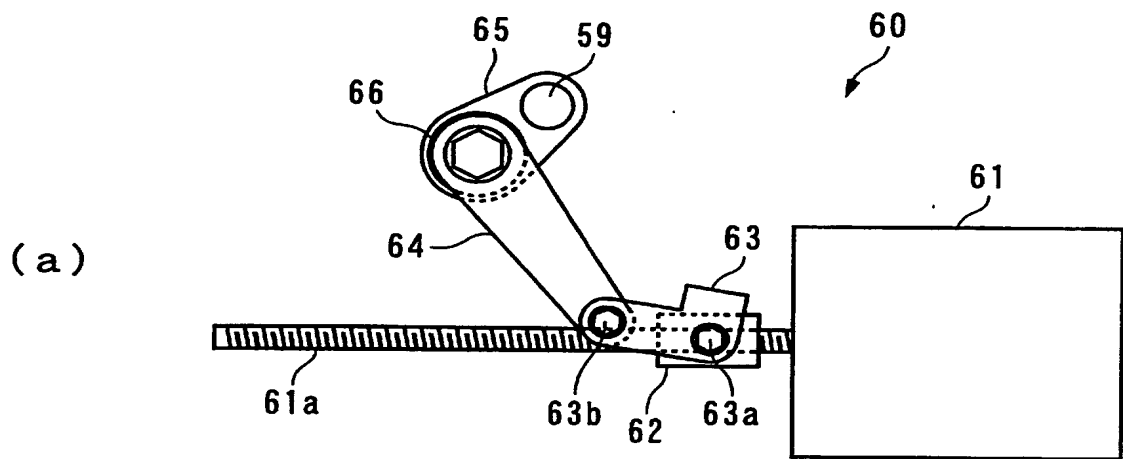


[図4]

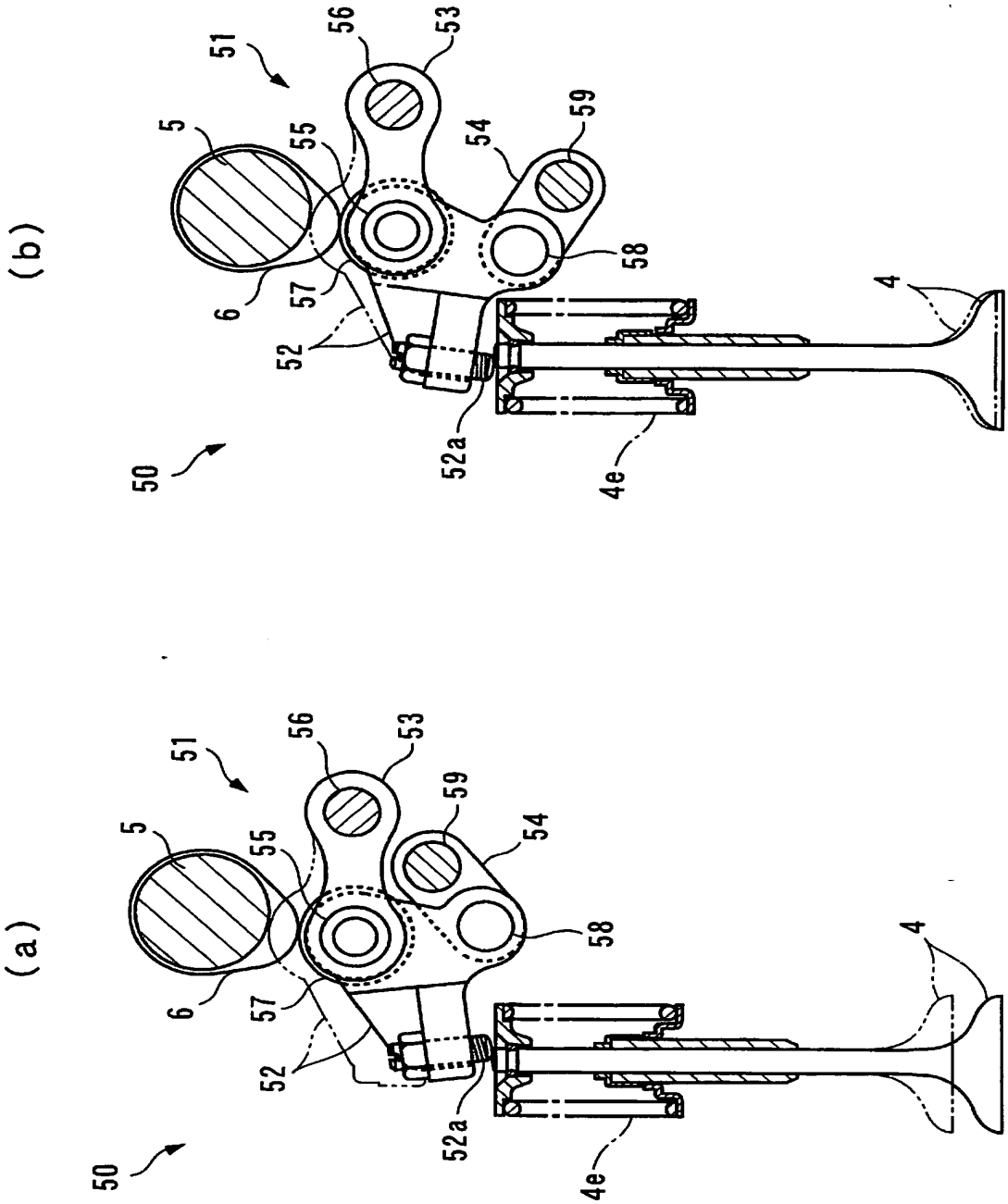




[図5]



[圖6]



[図7]

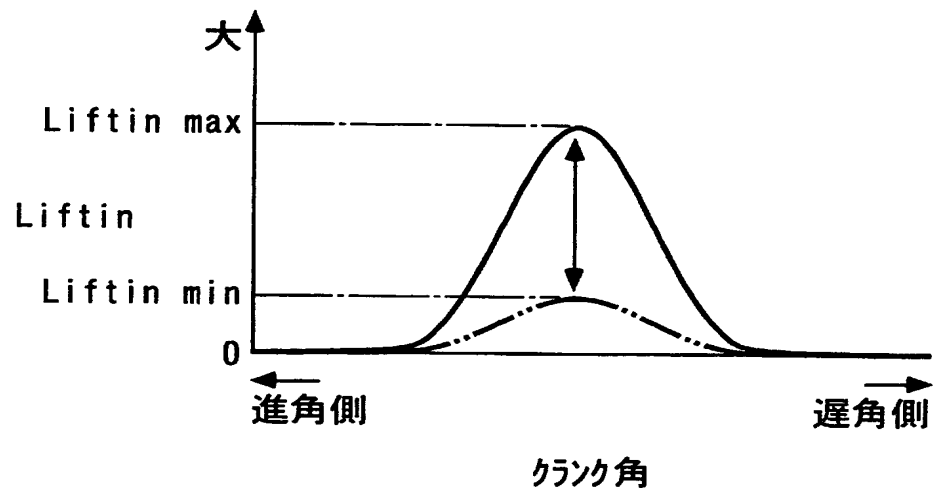
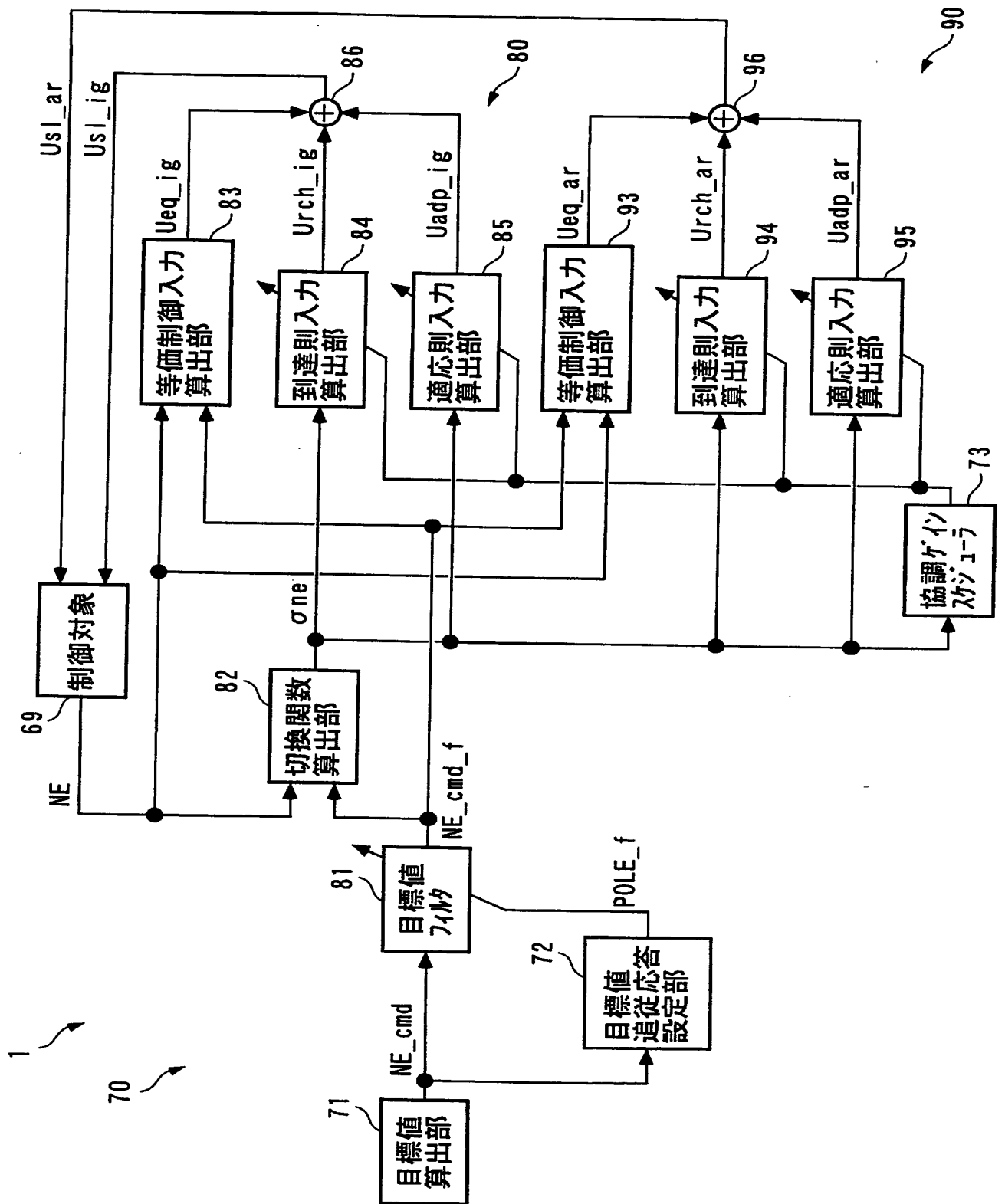
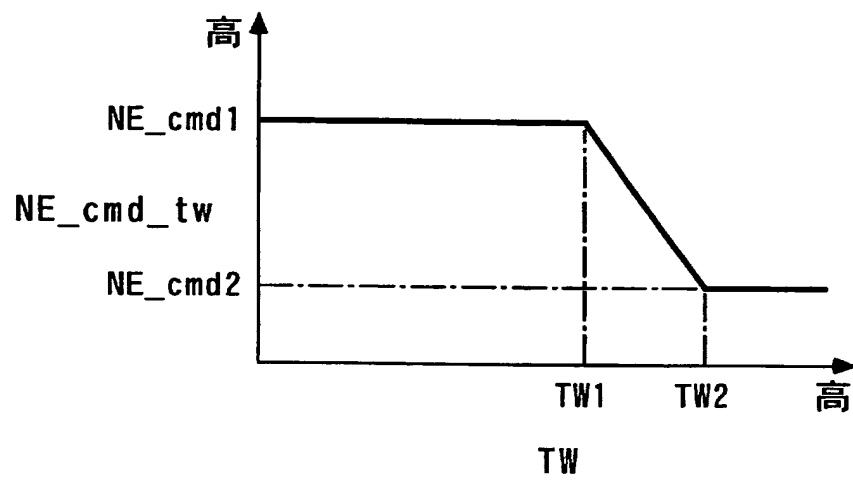


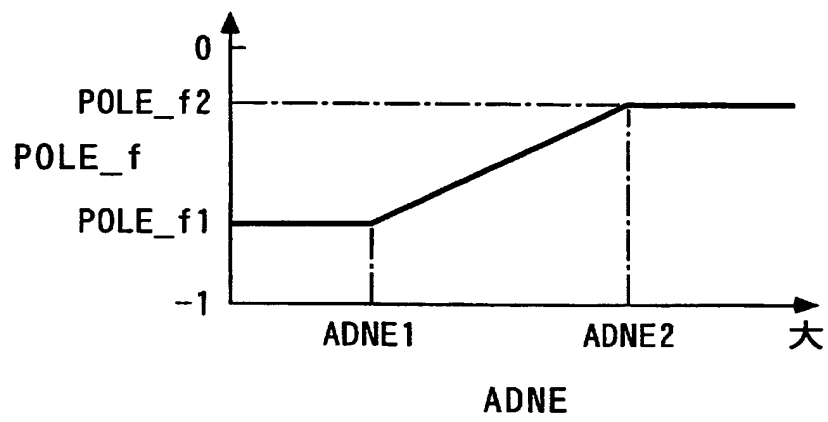
図8



[図9]



[図10]



[図11]

$$NE\_cmd\_f(k) = -POLE\_f \cdot NE\_cmd\_f(k-1) + (1+POLE\_f) \cdot NE\_cmd(k) \quad \dots\dots (1)$$

$$\sigma ne(k) = Ene(k) + POLE \cdot Ene(k-1) \quad \dots\dots (2)$$

$$Ene(k) = NE(k) - NE\_cmd\_f(k-1) \quad \dots\dots (3)$$

$$Ueq\_ig(k) = \frac{1}{b1} \{ (1-a1-POLE) \cdot NE(k) + (POLE-a2) \cdot NE(k-1) \\ - b2 \cdot Usl\_ig(k-1) + NE\_cmd\_f(k) \\ + (POLE-1) \cdot NE\_cmd\_f(k-1) - POLE \cdot NE\_cmd\_f(k-2) \} \quad \dots\dots (4)$$

$$Urch\_ig(k) = \frac{-Krch\_ig}{b1} \cdot \sigma ne(k) \quad \dots\dots (5)$$

$$sum\_ \sigma ne(k) = FGT \cdot sum\_ \sigma ne(k-1) + \sigma ne(k) \quad \dots\dots (6)$$

$$Uadp\_ig(k) = \frac{-Kadp\_ig}{b1} \cdot sum\_ \sigma ne(k) \quad \dots\dots (7)$$

$$Usl\_ig(k) = Ueq\_ig(k) + Urch\_ig(k) + Uadp\_ig(k) \quad \dots\dots (8)$$

[図12]

$$\begin{aligned}
 Ueq\_ar(k) = & \frac{1}{b1'} \{ (1-a1'-POLE) \cdot NE(k) + (POLE-a2') \cdot NE(k-1) \\
 & - b2' \cdot UsI\_ar(k-1) + NE\_cmd\_f(k) \\
 & + (POLE-1) \cdot NE\_cmd\_f(k-1) - POLE \cdot NE\_cmd\_f(k-2) \} \dots\dots (9)
 \end{aligned}$$

$$Urch\_ar(k) = \frac{-Krch\_ar}{b1'} \cdot \sigma_{ne}(k) \dots\dots (10)$$

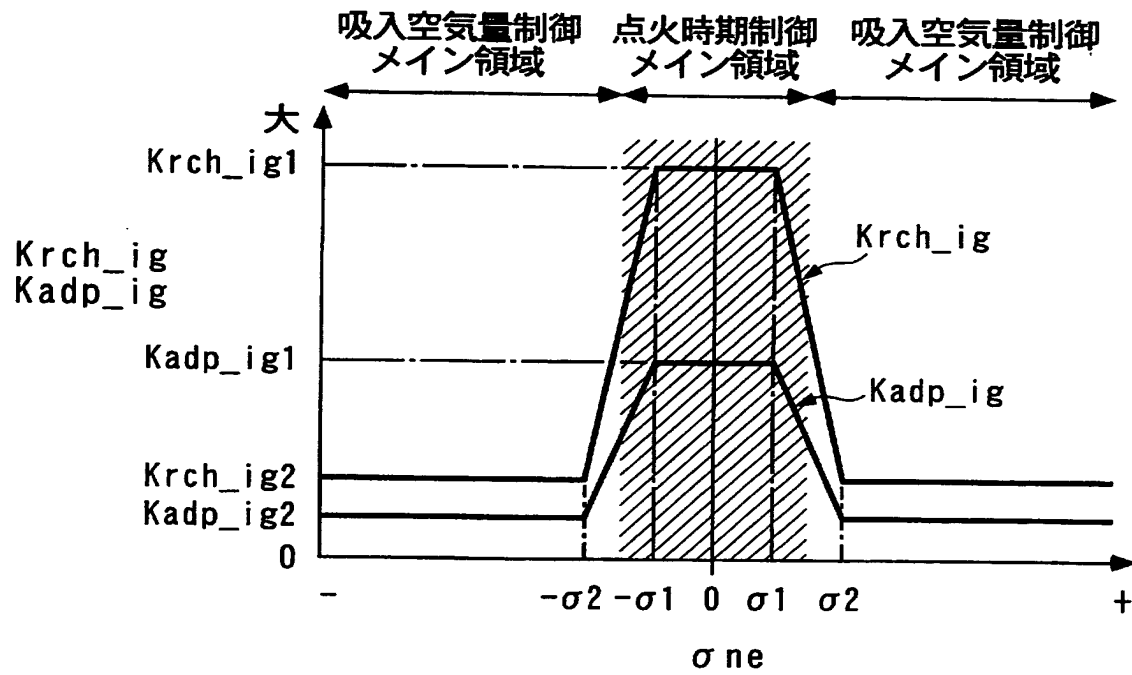
$$Uadp\_ar(k) = \frac{-Kadp\_ar}{b1'} \cdot \sum_{i=0}^k \cdot \sigma_{ne}(i) \dots\dots (11)$$

$$UsI\_ar(k) = Ueq\_ar(k) + Urch\_ar(k) + Uadp\_ar(k) \dots\dots (12)$$

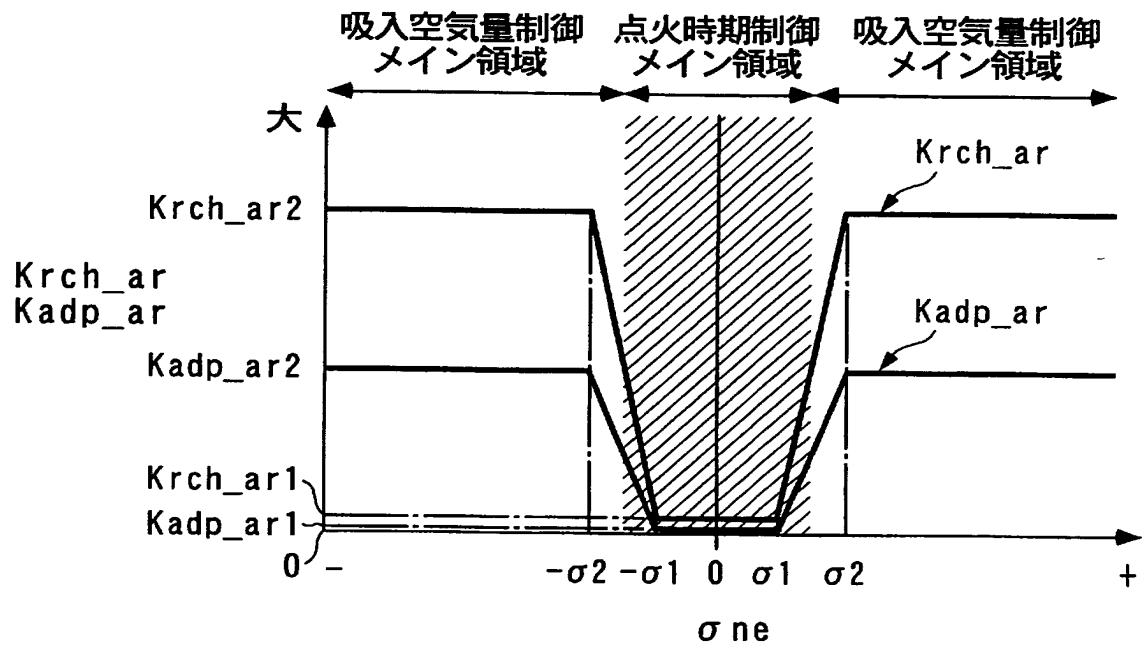
$$NE(k+1) = a1 \cdot NE(k) + a2 \cdot NE(k-1) + b1 \cdot UsI\_ig(k) + b2 \cdot UsI\_ig(k-1) \dots\dots (13)$$

$$NE(k+1) = a1' \cdot NE(k) + a2' \cdot NE(k-1) + b1' \cdot UsI\_ar(k) + b2' \cdot UsI\_ar(k-1) \dots\dots (14)$$

[図13]

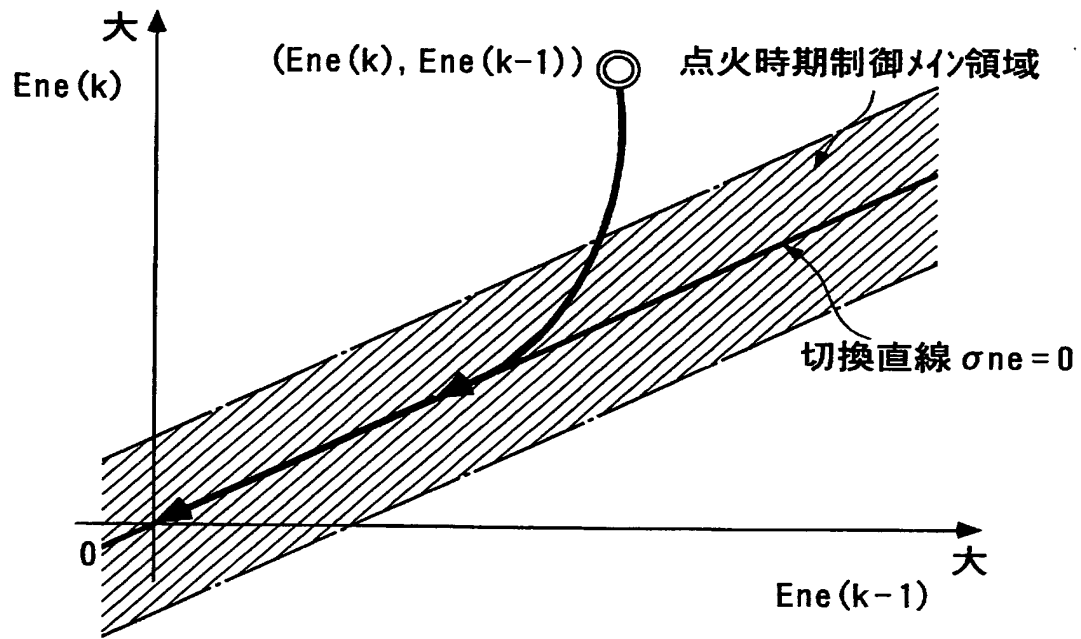


[図14]

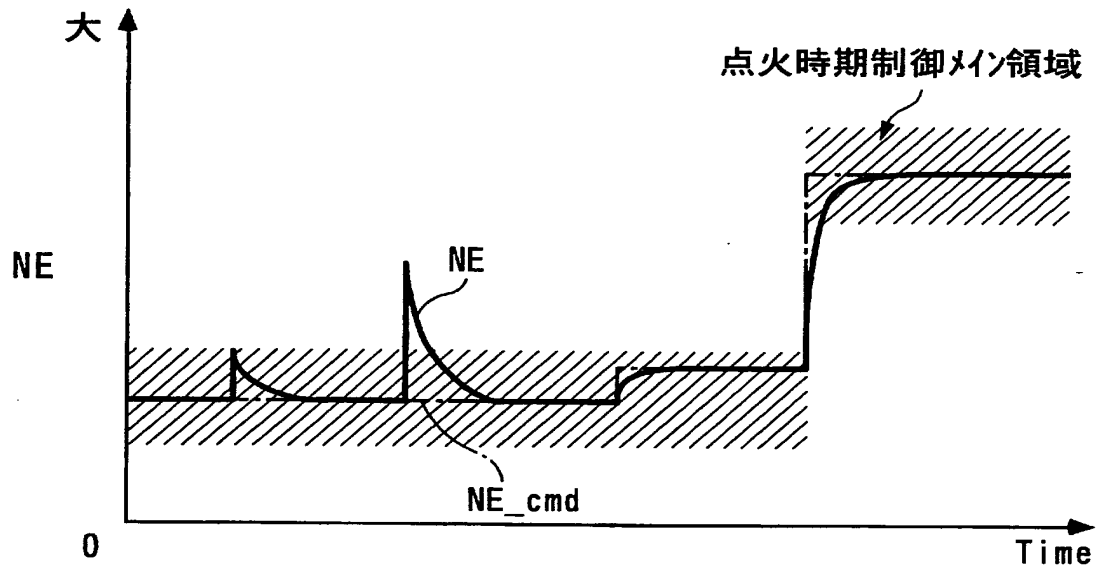




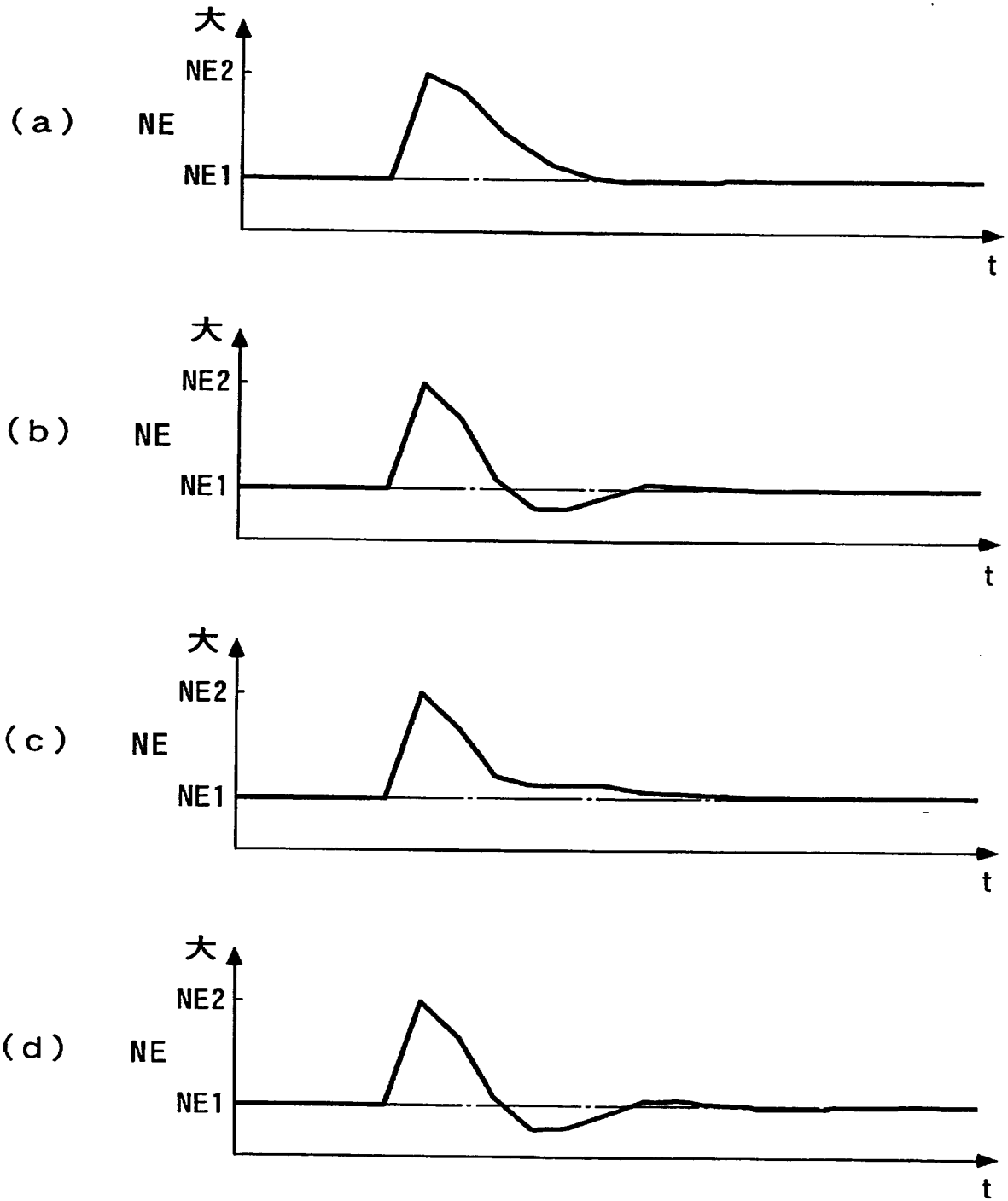
[図15]



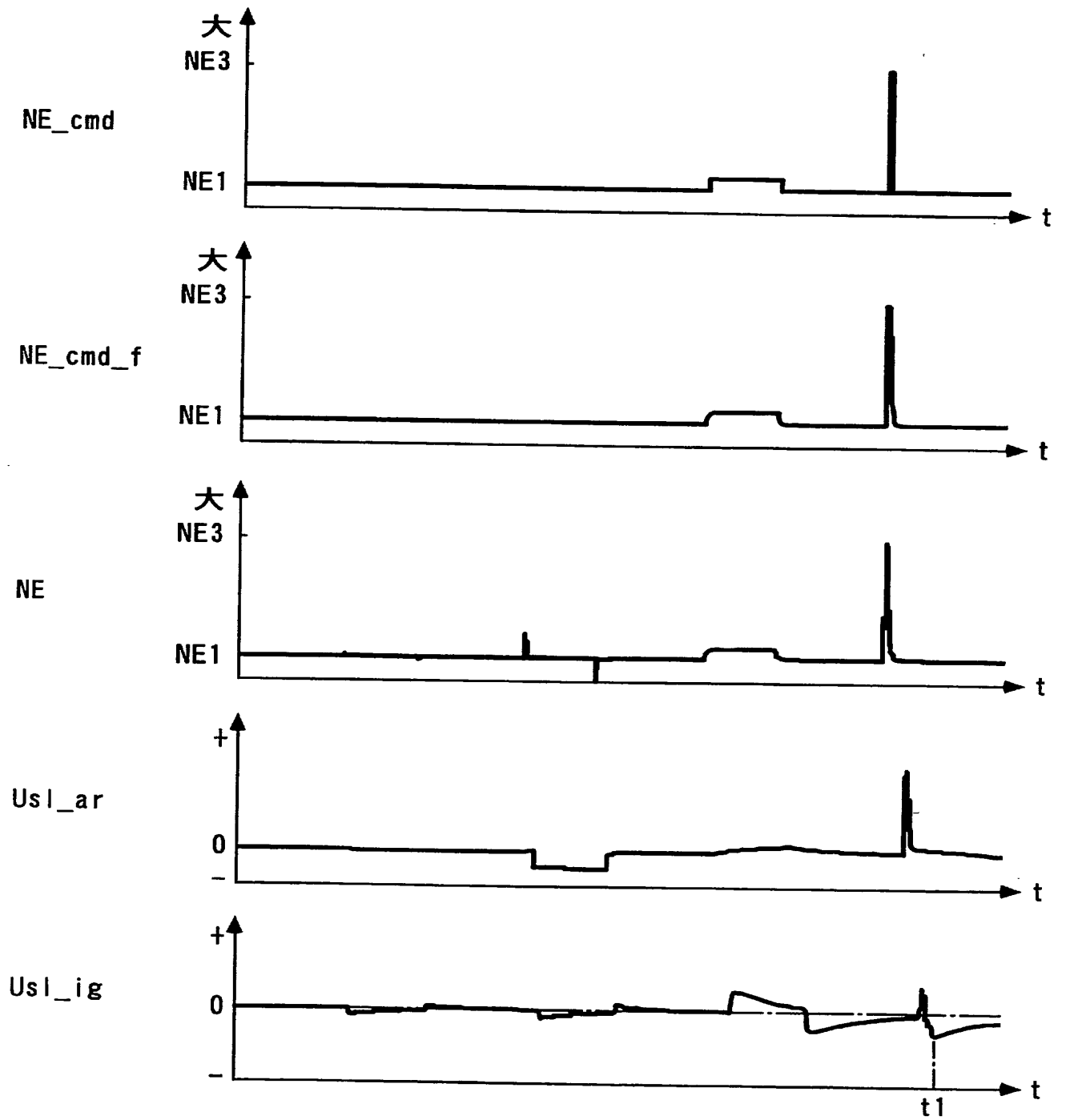
[図16]



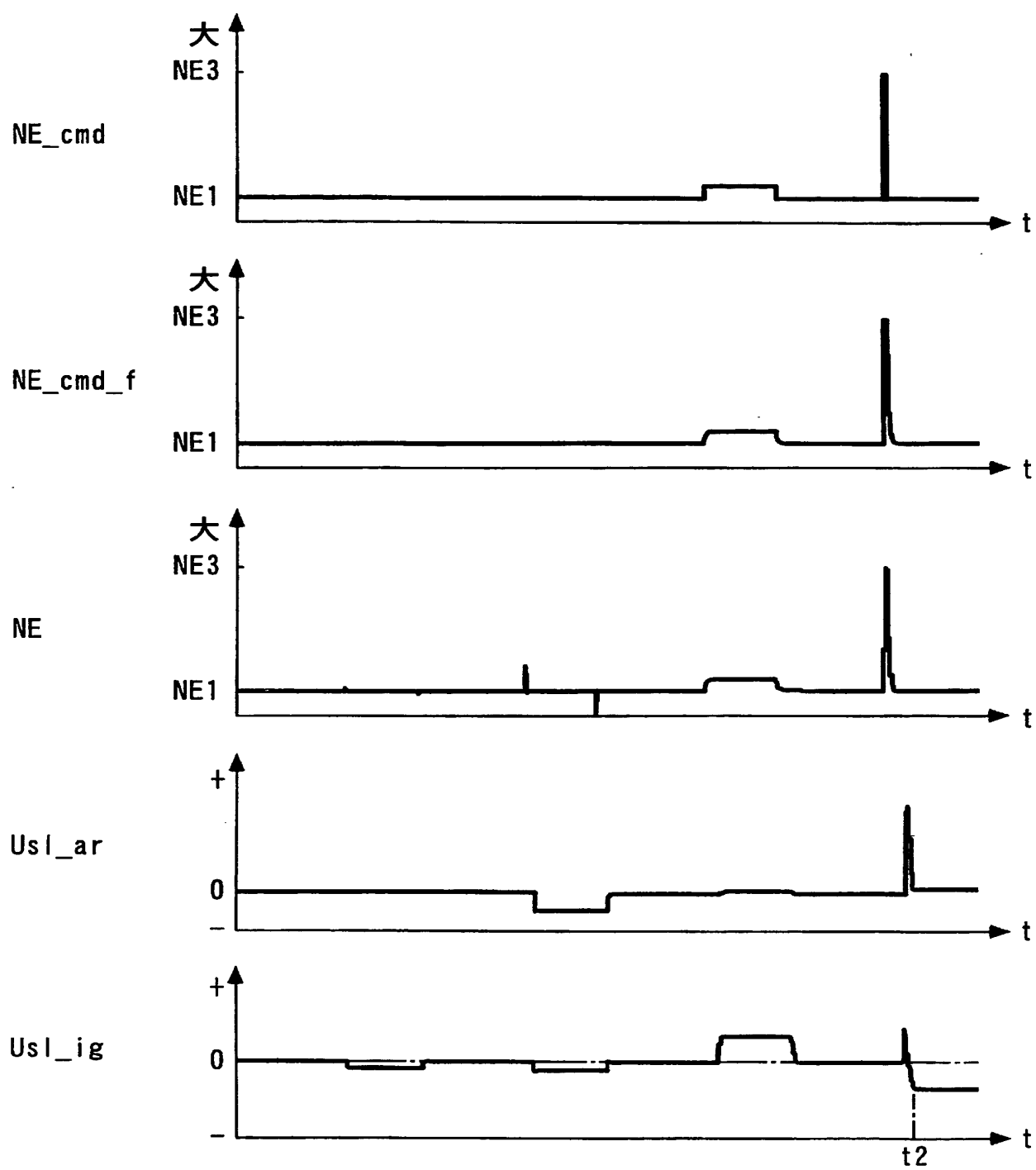
[図17]



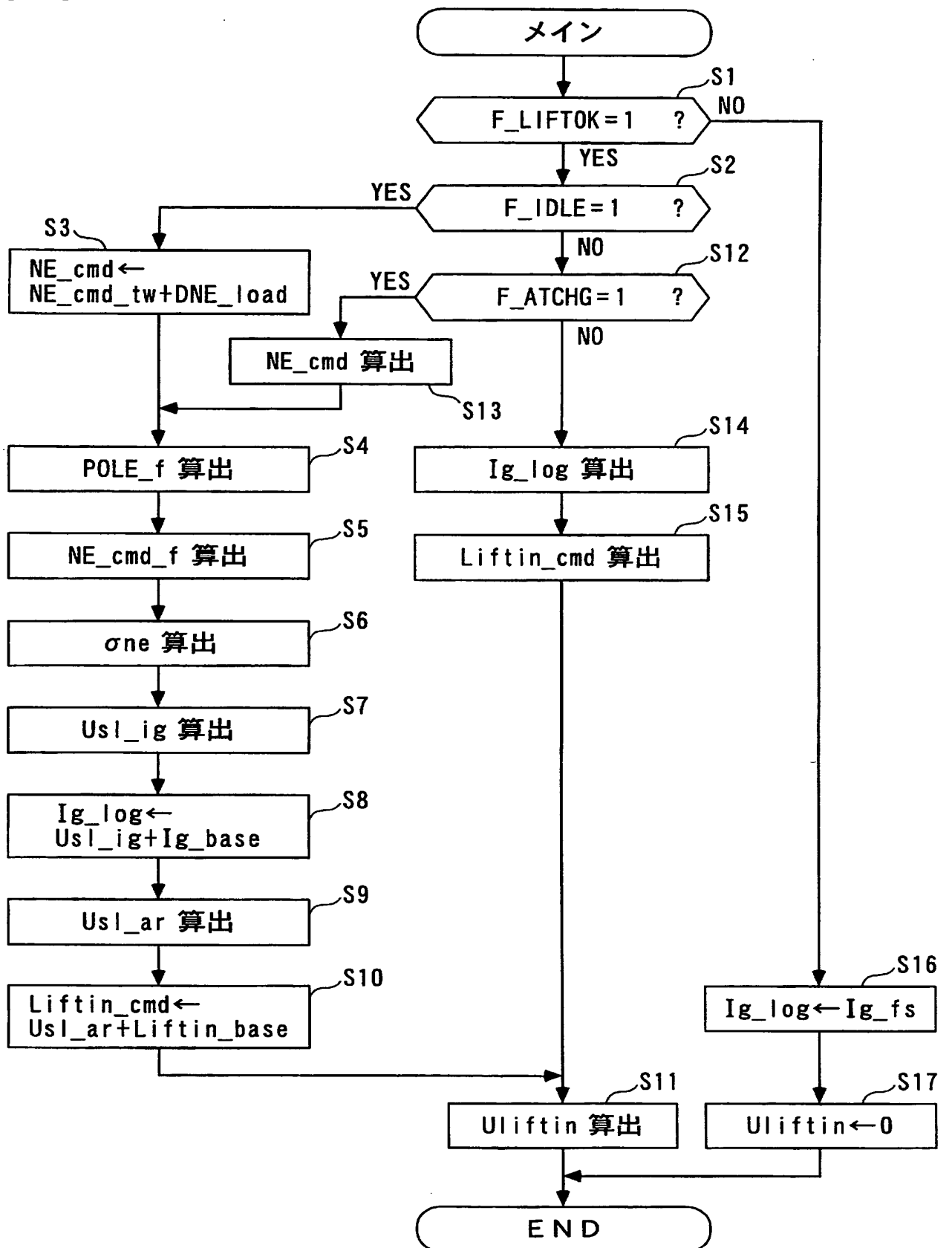
[図18]



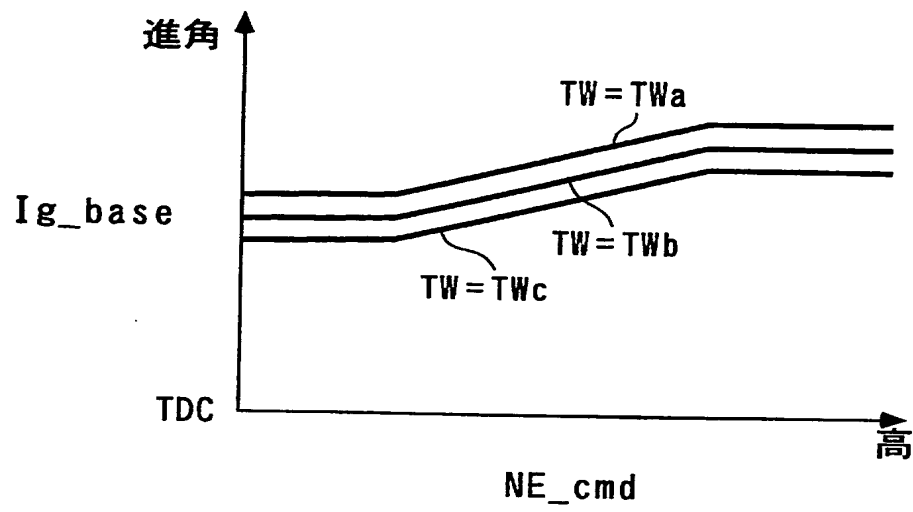
[図19]



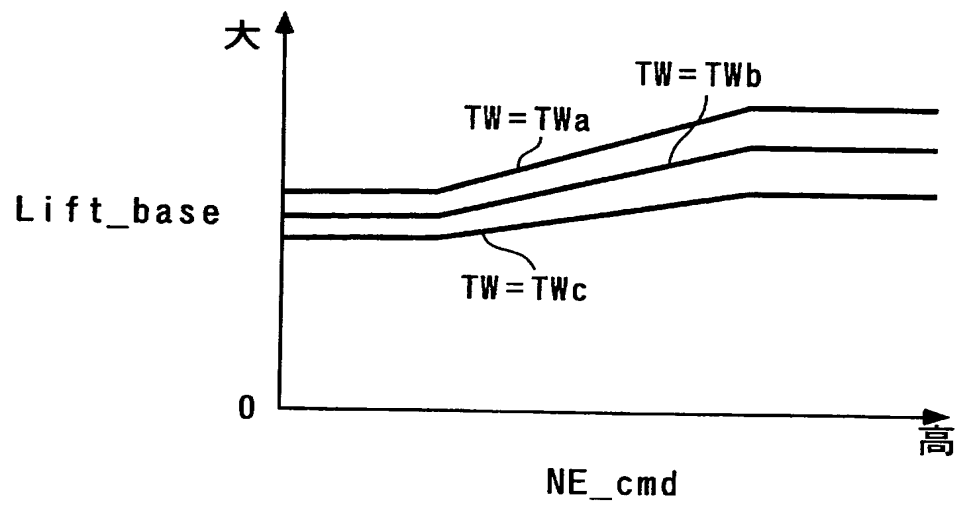
[図20]



[図21]



[図22]



[図23]

$$\begin{aligned} \text{Liftin\_cmd\_f}(k) = & -\text{POLE\_f''} \cdot \text{Liftin\_cmd\_f}(k-1) \\ & + (1 + \text{POLE\_f'}) \cdot \text{Liftin\_cmd}(k) \end{aligned} \quad \dots\dots (15)$$

$$\sigma_{li}(k) = \text{Eli}(k) + \text{POLE''} \cdot \text{Eli}(k-1) \quad \dots\dots (16)$$

$$\text{Eli}(k) = \text{Liftin}(k) - \text{Liftin\_cmd\_f}(k-1) \quad \dots\dots (17)$$

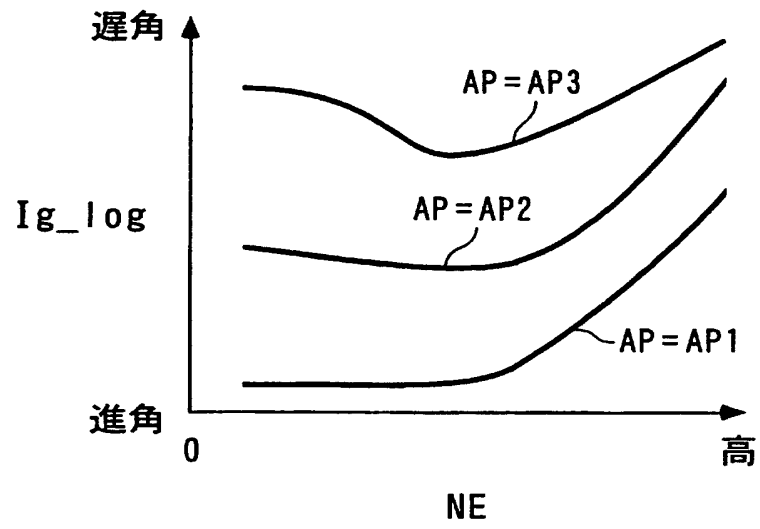
$$\begin{aligned} \text{Ueq\_li}(k) = & \frac{1}{b1''} \{ (1 - a1'' - \text{POLE'}) \cdot \text{Liftin}(k) + (\text{POLE''} - a2'') \cdot \text{Liftin}(k-1) \\ & - b2'' \cdot \text{Uliftin}(k-1) + \text{Liftin\_cmd\_f}(k) \\ & + (\text{POLE''} - 1) \cdot \text{Liftin\_cmd\_f}(k-1) - \text{POLE''} \cdot \text{Liftin\_cmd\_f}(k-2) \} \end{aligned} \quad \dots\dots (18)$$

$$\text{Urch\_li}(k) = \frac{-\text{Krch\_li}}{b1''} \cdot \sigma_{li}(k) \quad \dots\dots (19)$$

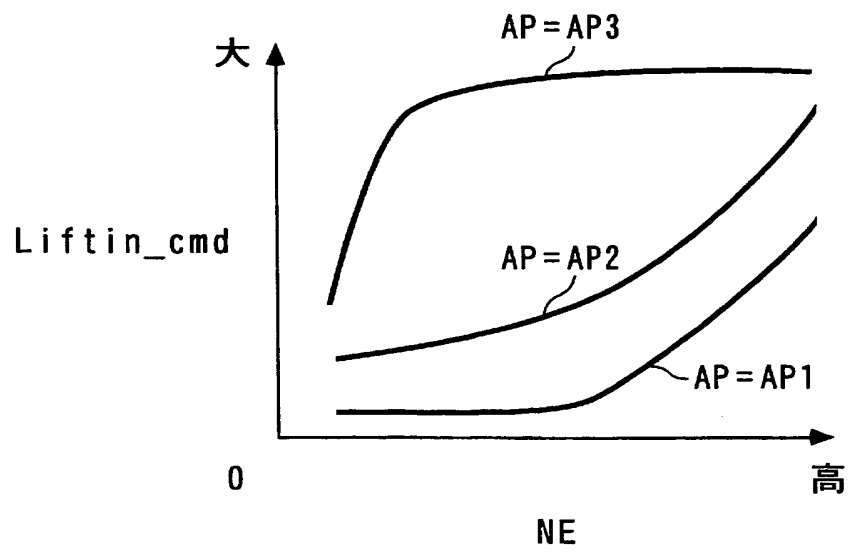
$$\text{Uadp\_li}(k) = \frac{-\text{Kadp\_li}}{b1''} \cdot \sum_{i=0}^k \sigma_{li}(i) \quad \dots\dots (20)$$

$$\text{Uliftin}(k) = \text{Ueq\_li}(k) + \text{Urch\_li}(k) + \text{Uadp\_li}(k) \quad \dots\dots (21)$$

[図24]

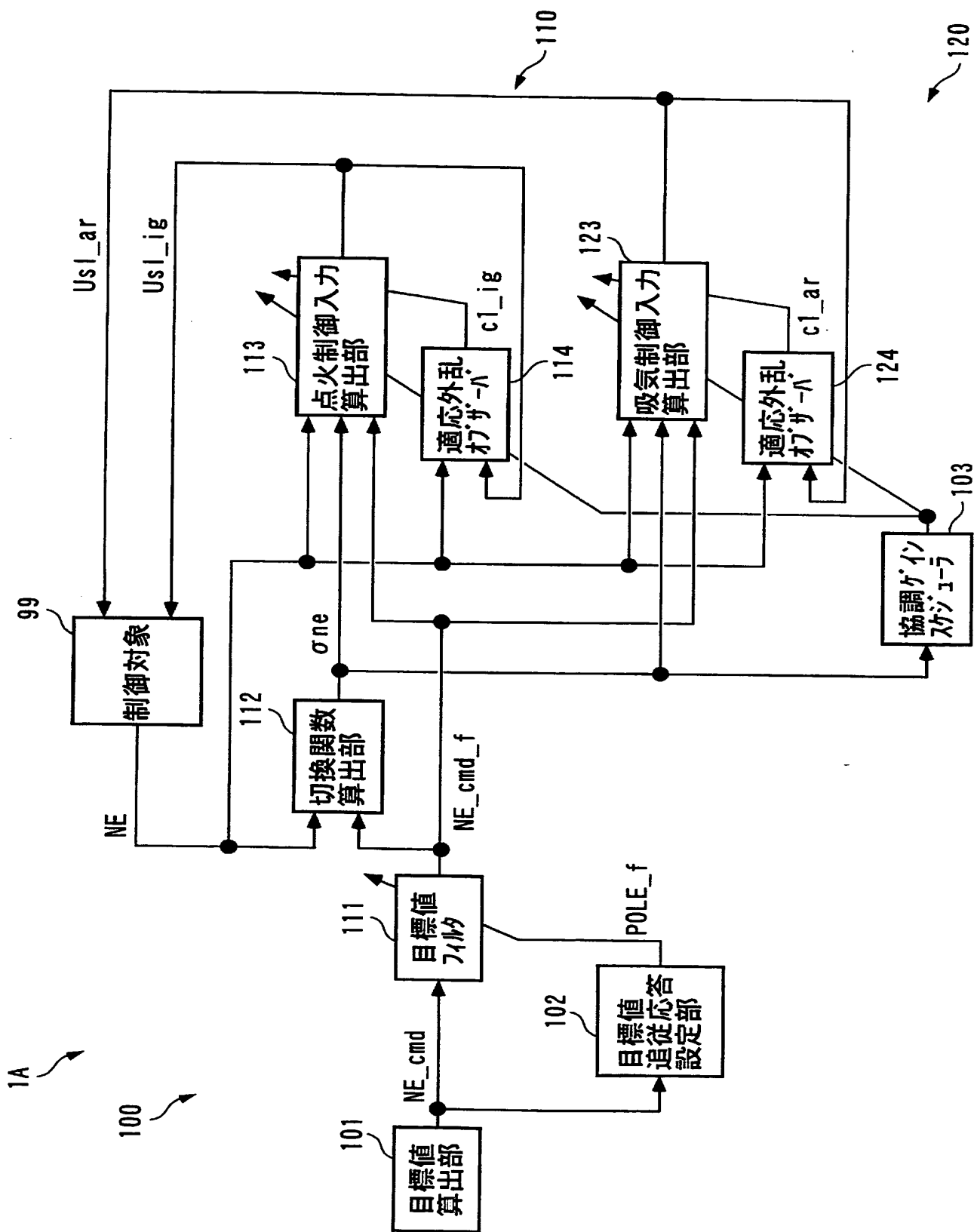


[図25]





[図26]



[図27]

$$NE\_cmd\_f(k) = -POLE\_f \cdot NE\_cmd\_f(k-1) + (1+POLE\_f) \cdot NE\_cmd(k) \quad \dots\dots (22)$$

$$\sigma_{ne}(k) = Ene(k) + POLE \cdot Ene(k-1) \quad \dots\dots (23)$$

$$Ene(k) = NE(k) - NE\_cmd\_f(k-1) \quad \dots\dots (24)$$

$$Ueq\_ig(k) = \frac{1}{b1} \{ (1-a1-POLE) \cdot NE(k) + (POLE-a2) \cdot NE(k-1) - b2 \cdot Us1\_ig(k-1) \\ + NE\_cmd\_f(k) + (POLE-1) \cdot NE\_cmd\_f(k-1) - POLE \cdot NE\_cmd\_f(k-2) \\ - c1\_ig(k) \} \quad \dots\dots (25)$$

$$Urch\_ig(k) = \frac{-Krch\_ig}{b1} \cdot \sigma_{ne}(k) \quad \dots\dots (26)$$

$$Us1\_ig(k) = Ueq\_ig(k) + Urch\_ig(k) \quad \dots\dots (27)$$

$$NE\_hat(k) = a1 \cdot NE(k-1) + a2 \cdot NE(k-2) + b1 \cdot Us1\_ig(k-1) + b2 \cdot Us1\_ig(k-2) \\ + c1\_ig(k-1) \quad \dots\dots (28)$$

$$e\_dov\_ig(k) = NE(k) - NE\_hat(k) \quad \dots\dots (29)$$

$$c1\_ig(k) = FGT\_dov \cdot c1\_ig(k-1) + \frac{P\_ig}{1+P\_ig} \cdot e\_dov\_ig(k) \quad \dots\dots (30)$$

[図28]

$$\begin{aligned}
 Ueq\_ar(k) = & \frac{1}{b1'} \{ (1-a1'-POLE) \cdot NE(k) + (POLE-a2') \cdot NE(k-1) - b2' \cdot UsI\_ig(k-1) \\
 & + NE\_cmd\_f(k) + (POLE-1) \cdot NE\_cmd\_f(k-1) - POLE \cdot NE\_cmd\_f(k-2) \\
 & - c1\_ar(k) \} \dots\dots (31)
 \end{aligned}$$

$$Urch\_ar(k) = \frac{-Krch\_ar}{b1'} \cdot \sigma ne(k) \dots\dots (32)$$

$$UsI\_ar(k) = Ueq\_ar(k) + Urch\_ar(k) + Uadp\_ar(k) \dots\dots (33)$$

$$\begin{aligned}
 NE\_hat(k) = & a1' \cdot NE(k-1) + a2' \cdot NE(k-2) + b1' \cdot UsI\_ar(k-1) + b2' \cdot UsI\_ar(k-2) \\
 & + c1\_ar(k-1) \dots\dots (34)
 \end{aligned}$$

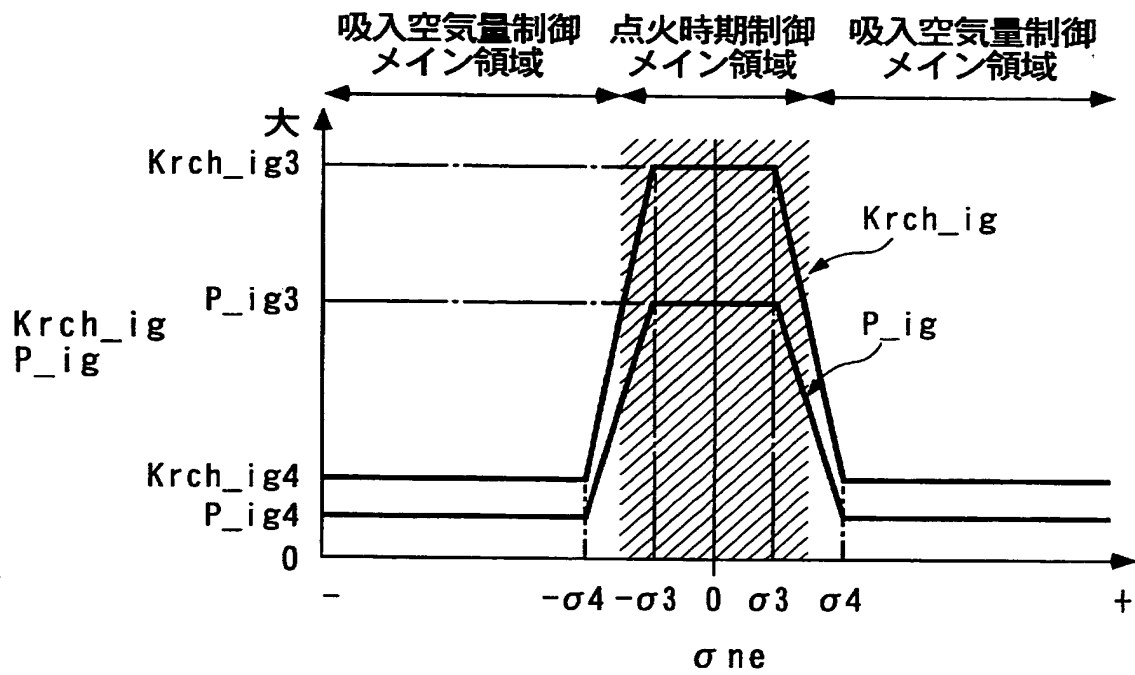
$$e\_dov\_ar(k) = NE(k) - NE\_hat(k) \dots\dots (35)$$

$$c1\_ar(k) = c1\_ar(k-1) + \frac{P\_ar}{1+P\_ar} \cdot e\_dov\_ar(k) \dots\dots (36)$$

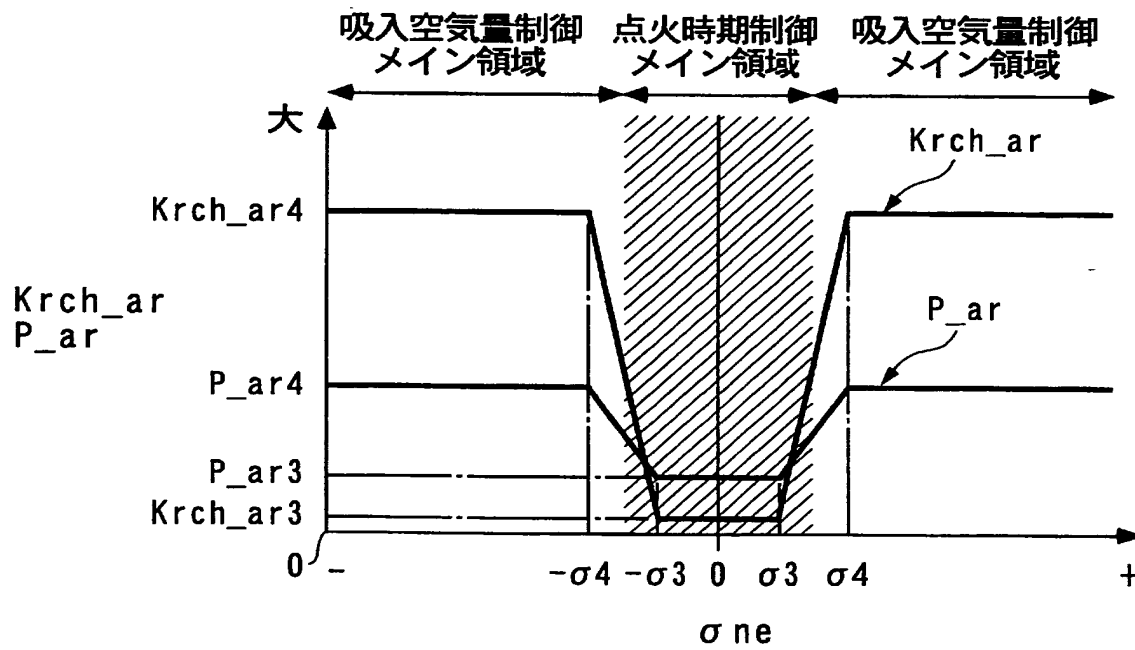
$$\begin{aligned}
 NE(k+1) = & a1 \cdot NE(k) + a2 \cdot NE(k-1) + b1 \cdot UsI\_ig(k) + b2 \cdot UsI\_ig(k-1) + c1\_ig \\
 & \dots\dots (37)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NE(k+1) = & a1' \cdot NE(k) + a2' \cdot NE(k-1) + b1' \cdot UsI\_ar(k) + b2' \cdot UsI\_ar(k-1) + c1\_ar \\
 & \dots\dots (38)
 \end{aligned}$$

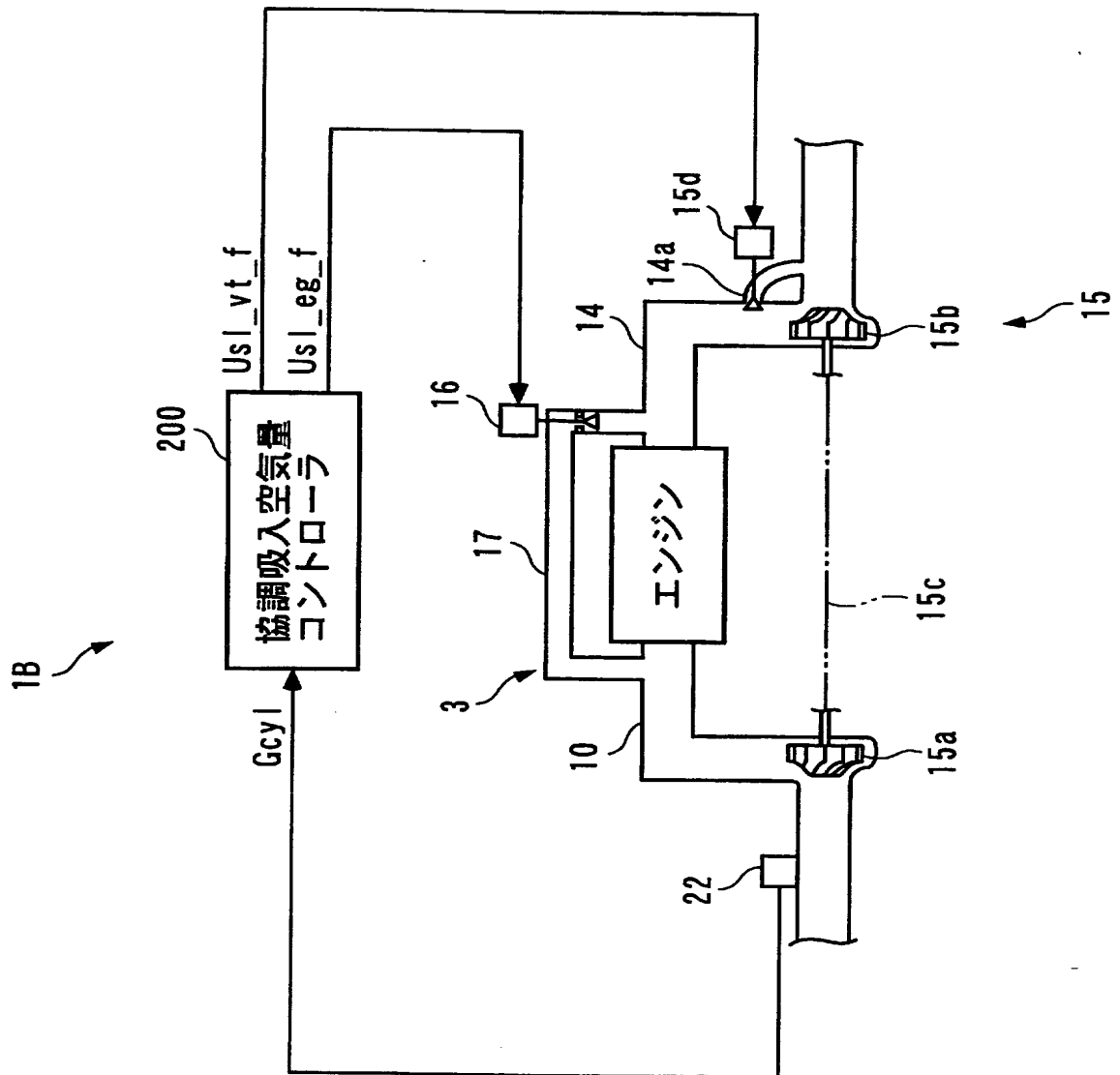
[図29]



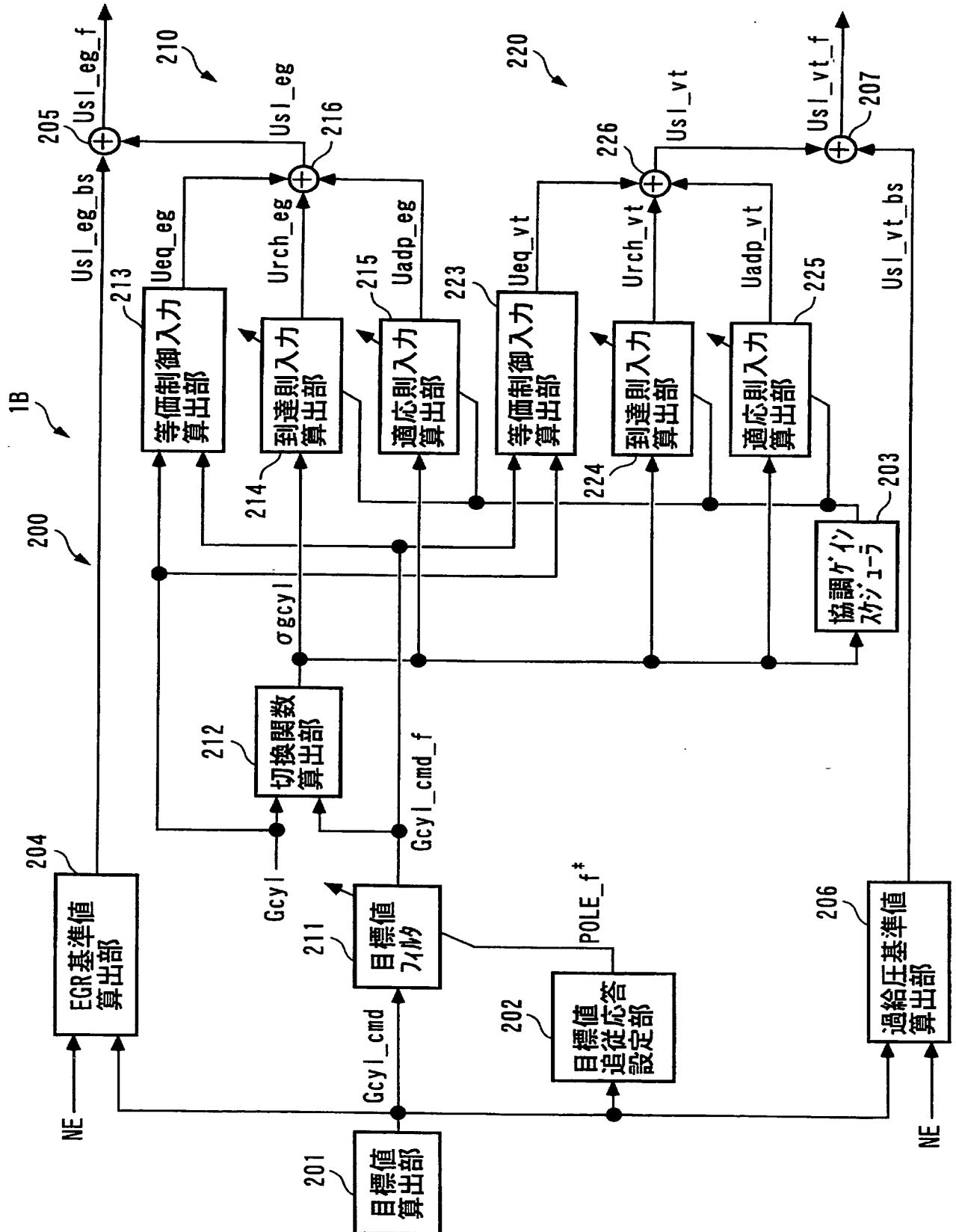
[図30]



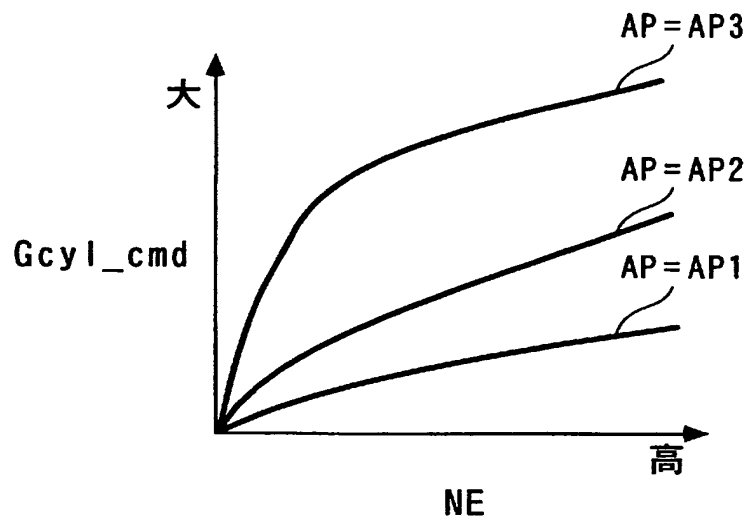
[図31]



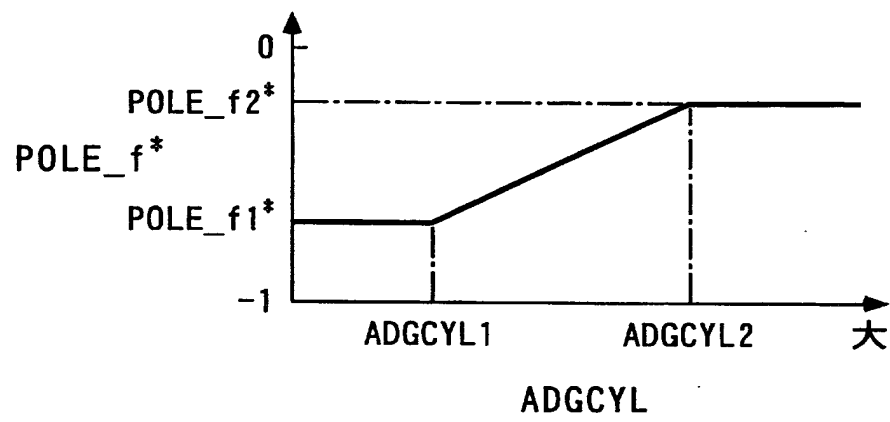
[図32]



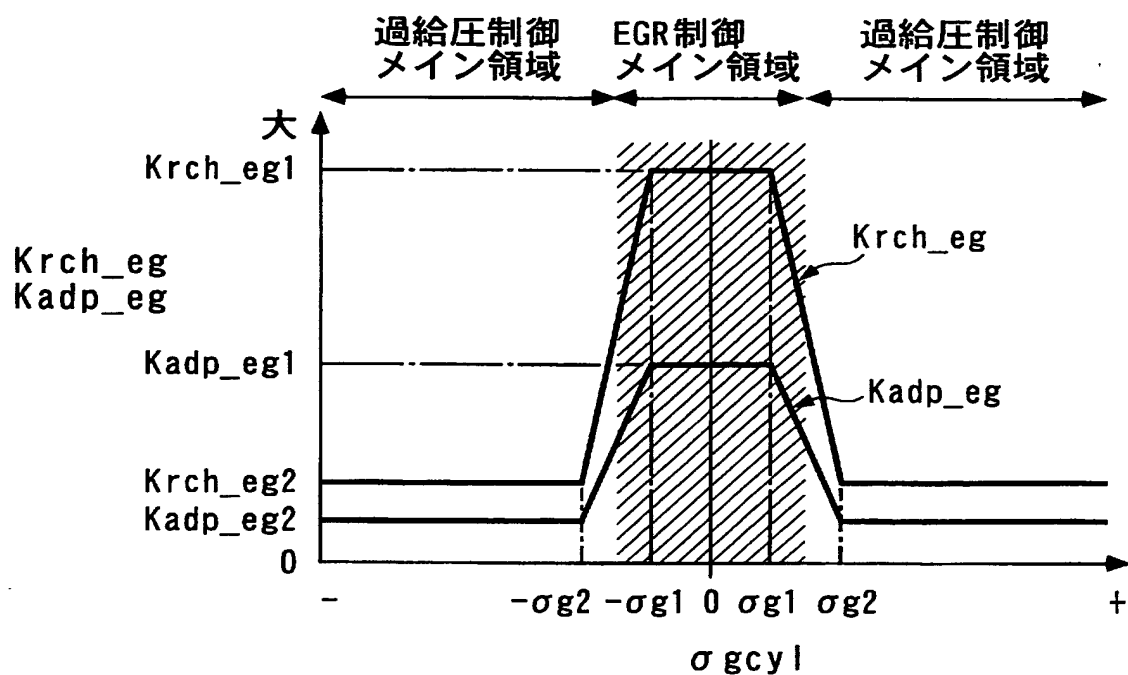
[図33]



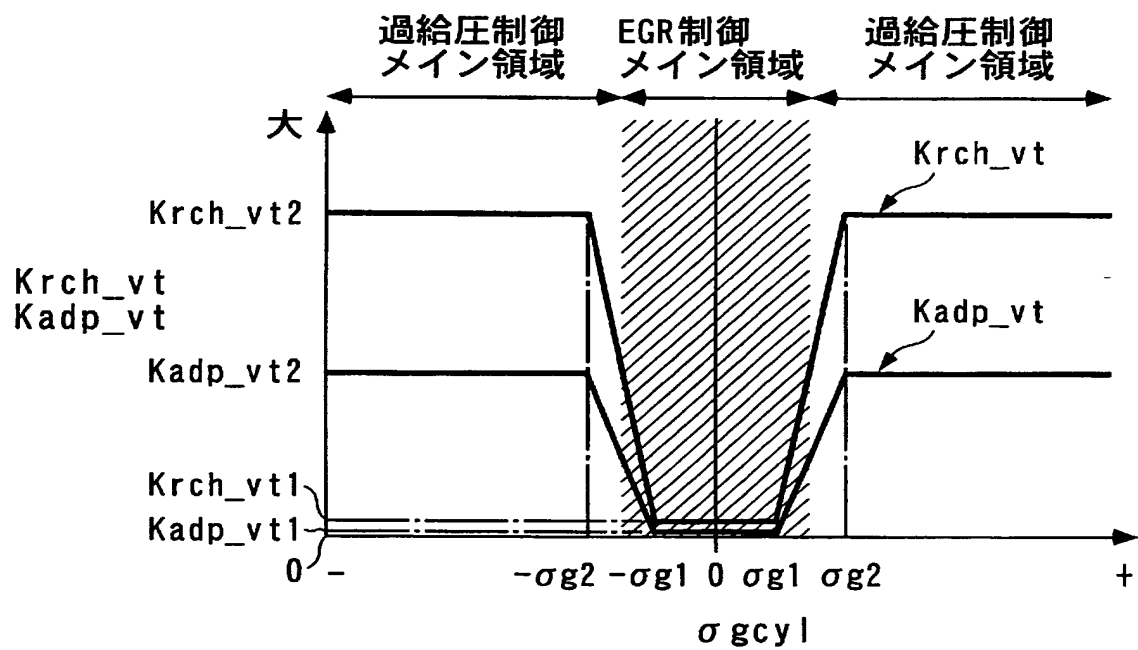
[図34]



[図35]



[図36]





[図37]

$$Gcyl\_cmd\_f(k) = -POLE\_f^* \cdot Gcyl\_cmd\_f(k-1) + (1 + POLE\_f^*) \cdot Gcyl\_cmd(k) \quad \dots\dots (39)$$

$$\sigma_{gcyI}(k) = EgcyI(k) + POLE^* \cdot EgcyI(k-1) \quad \dots\dots (40)$$

$$EgcyI(k) = Gcyl(k) - Gcyl\_cmd\_f(k-1) \quad \dots\dots (41)$$

$$\begin{aligned} Ueq\_eg(k) = & \frac{1}{b1^*} \{ (1 - a1^* - POLE^*) \cdot Gcyl(k) + (POLE^* - a2^*) \cdot Gcyl(k-1) \\ & - b2^* \cdot UsI\_eg(k-1) + Gcyl\_cmd\_f(k) \\ & + (POLE^* - 1) \cdot Gcyl\_cmd\_f(k-1) - POLE^* \cdot Gcyl\_cmd\_f(k-2) \} \end{aligned} \quad \dots\dots (42)$$

$$Urch\_eg(k) = \frac{-Krch\_eg}{b1^*} \cdot \sigma_{gcyI}(k) \quad \dots\dots (43)$$

$$sum\_ \sigma_{gcyI}(k) = FGT\_eg \cdot sum\_ \sigma_{gcyI}(k-1) + \sigma_{gcyI}(k) \quad \dots\dots (44)$$

$$Uadp\_eg(k) = \frac{-Kadp\_eg}{b1^*} \cdot sum\_ \sigma_{gcyI}(k) \quad \dots\dots (45)$$

$$UsI\_eg(k) = Ueq\_eg(k) + Urch\_eg(k) + Uadp\_eg(k) \quad \dots\dots (46)$$

$$UsI\_eg\_f(k) = UsI\_eg(k) + UsI\_eg\_bs(k) \quad \dots\dots (47)$$

[図38]

$$\begin{aligned}
 Ueq\_vt(k) = & \frac{1}{b1^\#} \{ (1 - a1^\# - POLE^\#) \cdot Gcyl(k) + (POLE^\# - a2^\#) \cdot Gcyl(k-1) \\
 & - b2^\# \cdot UsI\_vt(k-1) + Gcyl\_cmd\_f(k) \\
 & + (POLE^\# - 1) \cdot Gcyl\_cmd\_f(k-1) - POLE^\# \cdot Gcyl\_cmd\_f(k-2) \} \\
 & \dots\dots (48)
 \end{aligned}$$

$$Urch\_vt(k) = \frac{-Krch\_vt}{b1^\#} \cdot \sigma g cyl(k) \dots\dots (49)$$

$$Uadp\_vt(k) = \frac{-Kadp\_vt}{b1^\#} \cdot \sum_{i=0}^k \cdot \sigma g cyl(i) \dots\dots (50)$$

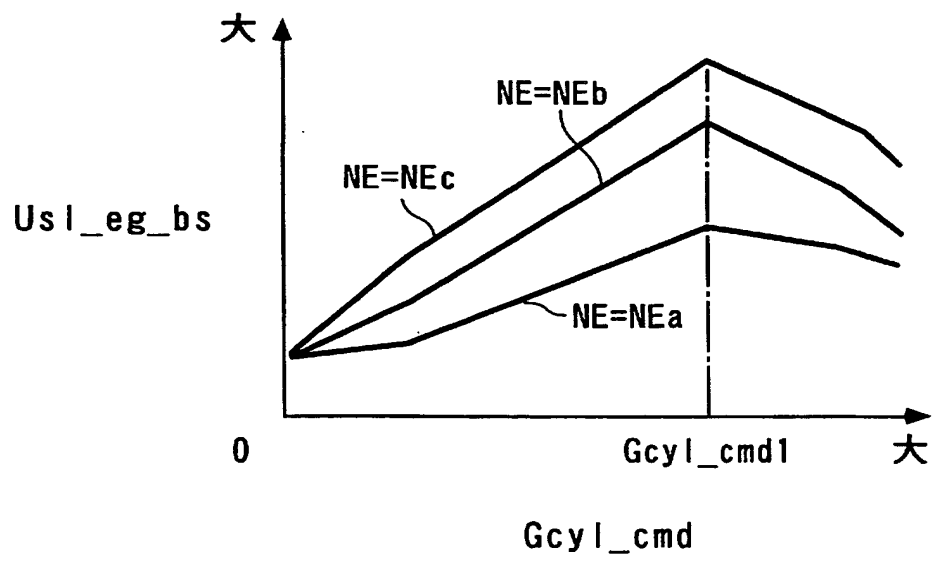
$$UsI\_vt(k) = Ueq\_vt(k) + Urch\_vt(k) + Uadp\_vt(k) \dots\dots (51)$$

$$UsI\_vt\_f(k) = UsI\_vt(k) + UsI\_vt\_bs(k) \dots\dots (52)$$

$$\begin{aligned}
 Gcyl(k+1) = & a1^\# \cdot Gcyl(k) + a2^\# \cdot Gcyl(k-1) + b1^\# \cdot UsI\_eg(k) + b2^\# \cdot UsI\_eg(k-1) \\
 & \dots\dots (53)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Gcyl(k+1) = & a1^\# \cdot Gcyl(k) + a2^\# \cdot Gcyl(k-1) + b1^\# \cdot UsI\_vt(k) + b2^\# \cdot UsI\_vt(k-1) \\
 & \dots\dots (54)
 \end{aligned}$$

[図39]



[図40]

